

М. В. ПРОШУТИНСКИЙ

АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро», Санкт-Петербург

МЕТОДИКА СНЯТИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИНЕРЦИАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ ИЗ СОСТАВА АВТОНОМНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ПОДВИЖНОГО РОБОТА

Приведена методика снятия выходных характеристик с инерциального измерительного модуля, разработанного на базе микроэлектромеханических датчиков. Получены первые экспериментальные данные, содержащие шум, точки выбросов данных и дрейф нуля в зависимости как от времени работы, так и от включения к включению. Результаты исследования представлены в виде статистических данных и графиков выходных характеристик.

Введение. В системах управления автономными малогабаритными подвижными роботами используются специальные бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) с инерциальными измерительными модулями (ИИМ), разработанными на базе микроэлектромеханических (МЭМС) датчиков: гироскопов, акселерометров, магнитометров и барометров.

Среди достоинств БИНС с МЭМС ИИМ стоит отметить:

- полную автономность;
- хорошую помехозащищённость;
- высокую частоту выдачи навигационных данных (до 100 Гц);
- малые массогабаритные характеристики;
- низкую потребляемую мощность источника питания;
- низкую себестоимость.

Однако общим недостатком любых БИНС является сохранение ими требуемой точности навигации лишь в течение ограниченного количества времени вследствие накапливающихся ошибок измерения с помощью инерциальных датчиков.

А работая с МЭМС-технологиями, мы наталкиваемся на фундаментальное физическое противоречие: чем меньше размер и масса первичного датчика, тем больше погрешность измерения вследствие недопустимо большого собственного дрейфа относительно нулевых значений и значительного влияния внешней среды (например, температура, а также линейные и вращательные ускорения движения носителя). При этом уходы накапливаются, возрастают и непредсказуемо изменяются как во времени, так и от включения к включению. В выходных характеристиках МЭМС-датчиков также присутствует высокий уровень шума.

Вследствие чего в настоящее время БИНС с ИИМ на базе МЭМС используются для измерения только очень кратких по времени ускорений и перемещений.

Уменьшение погрешности позволит использовать такие БИНС более длительное время без интеграции с другими системами определения местоположения и без накопления существенных ошибок.

С целью разработки метода снижения погрешности и компенсации уходов показаний МЭМС-датчиков, а также снижения влияния ВВФ для начала необходимо научиться точно определять выходные характеристики МЭМС-датчиков.

Предлагаемый доклад посвящён разработке методики снятия выходных характеристик МЭМС-датчиков.

Также здесь приведено исследование дрейфа нуля и шумового состава выходных сигналов ИИМ путём измерения зависимостей каждого МЭМС-датчика.

Методика снятия характеристик МЭМС ИИМ. В рамках полномасштабного эксперимента с целью исследования погрешностей МЭМС ИИМ всего будет поставлено 120 однотипных опытов на экспериментальной установке в стационарном состоянии длительностью 8 часов каждый. То есть по 20 опытов в каждом положении ИИМ, что согласно распределению Стюдента достаточно для получения экспериментальных данных с доверительным интервалом не хуже 0,95 [1].

Экспериментальная установка. Экспериментальная установка собрана на базе ИИМ «Amperka Тройка IMU 10 DOF» [2] [3], подключённого к ноутбуку или персональному компьютеру

(ПК) через плату сопряжения «Amperka Troyka Slot Shield» [4] [5] и управляющую плату «Arduino Uno R3» [6].

ИИМ «Amperka Troyka IMU 10 DOF» приведён на рис. 1.

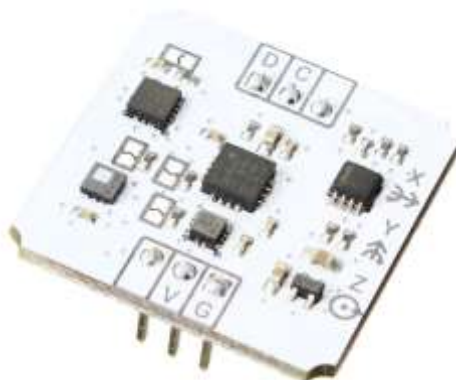


Рис. 1. Troyka IMU 10 DOF

Конструктивно ИИМ «Amperka Troyka IMU 10 DOF» представляет собой аппаратно-программный модуль. В его состав входит четыре датчика фирмы «STMicroelectronics»:

- трёхосевой МЭМС-акселерометр LIS331DLH [7];
- трёхосевой МЭМС-гироскоп (датчик угловой скорости) I3G4250D [8];
- трёхосевой МЭМС-магнитометр (магнитный компас) LIS3MDL [9];
- пьезорезистивный датчик давления (барометр) LPS25HB [10].

Приставка «10 DOF» означает, что ИИМ обладает десятью степенями свободы, а именно:

- три ортогональные оси чувствительности акселерометра, позволяющие получить пространственный вектор ускорения, что даёт полную информацию по линейному ускорению в инерциальном пространстве;
- три ортогональные оси чувствительности гироскопа, позволяющие получить пространственный вектор скорости вращения робота относительно собственных осей X, Y и Z.
- три ортогональные оси чувствительности магнитометра, позволяющие получить пространственный вектор напряжённости магнитного поля, что поможет определить направление на Север;
- данные с барометра, позволяющие получить значения атмосферного давления и вычислить высоту над уровнем моря.

При этом в каждой микросхеме имеется встроенный датчик температуры, что позволяет получить более точную информацию о работе датчиков даже в экстремальных условиях.

Также в состав ИИМ входят линейный понижающий регулятор напряжения «NCP698SQ33T1G» [11] производства фирмы «On Semiconductor» и преобразователь логических уровней «PCA9306DCT» [12] производства фирмы «Texas Instruments».

Информационный обмен ИИМ с управляющей электроникой «Arduino» происходит по протоколу I²C / TWI, благодаря чему для подключения требуется всего два контакта.

Общий вид всех соединённых устройств с подключением к ноутбуку приведён на рис. 2.



Рис. 2. Экспериментальная установка с подключением к ноутбуку

Первые полученные результаты экспериментов. Исследования МЭМС ИИМ проводились в нормальных климатических условиях при комнатной температуре. Статистические данные результатов первых 20 экспериментов, снятых с МЭМС-гироскопа по оси X, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические данные результатов первых 20 экспериментов, снятых с МЭМС-гироскопа по оси X

№№ опытов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Мат. ожидание	2,50	2,50	2,75	2,50	2,77	2,79	2,52	2,71	2,70	2,49	2,79	2,74	2,51	2,73	2,52	2,73	2,77	2,50	2,50	2,72
Ср. отклонение	0,14	0,14	0,13	0,15	0,13	0,13	0,14	0,13	0,12	0,14	0,14	0,12	0,14	0,12	0,14	0,12	0,13	0,14	0,14	0,12
Ср. кв. отклонение	0,22	0,18	0,36	0,18	0,63	0,16	0,18	0,17	0,16	0,36	0,18	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,18	0,17	0,44
Дисперсия	0,05	0,03	0,13	0,03	0,39	0,03	0,03	0,03	0,02	0,13	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,19

Графики экспериментальных данных представлены на рис. 3.

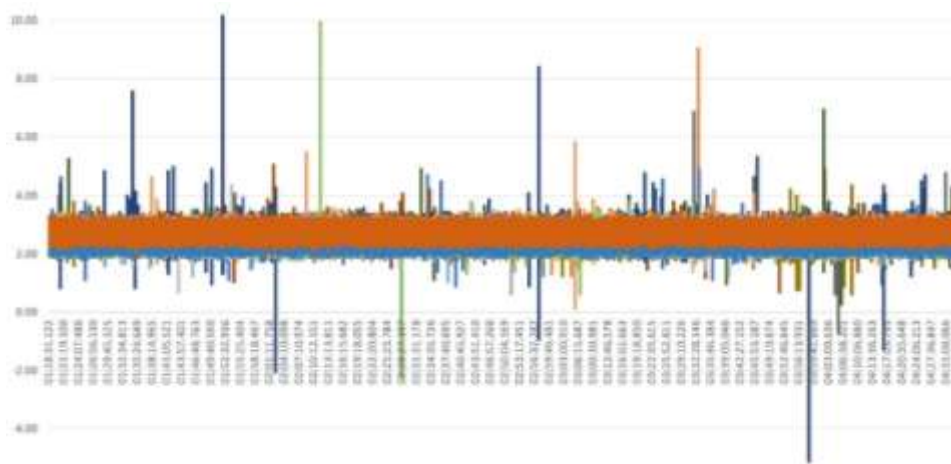


Рис. 3. Результаты первых 20 экспериментов, снятых с МЭМС-гироскопа по оси X

Выводы. В ходе первых полученных результатов эксперимента было установлено, что:

- в выходных данных, снятых с МЭМС-датчиков, присутствует шум, точки выбросов данных и внутренний дрейф относительно нулевого значения;
- судя по статистическим данным результатов и графикам характеристик первых экспериментов, разница показаний гироскопа в течение всех 20 экспериментов незначительна.

Следовательно, методика снятия характеристик с ИИМ МЭМС показывает достаточно точные результаты.

Заключение. В рамках исследования была разработана методика точного определения выходных характеристик МЭМС-датчиков, построены графики выходных характеристик МЭМС ИИМ по результатам первых экспериментальных данных, снятых с МЭМС-гироскопа по оси X.

Дальнейшей задачей является разработка метода снижения погрешности и компенсации уходов показаний МЭМС-датчиков, а также снижения влияния ВВФ.

Результаты были получены в рамках выполнения работ в соответствии с Дополнительным соглашением от 09.06.2020 № 075-03-2020-045/2 между Минобрнауки и БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова на выполнение государственного задания по теме «Разработка фундаментальных основ создания и управления группировками высокоскоростных беспилотных аппаратов космического и воздушного базирования и группами робототехнических комплексов наземного базирования» (шифр «Роботы – 2024»).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бойко А.Ф., Кудеников Е.Ю.** Точный метод расчёта необходимого количества повторных опытов. Белгород: Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. №8. С. 128-132.
2. IMU-сенсор 10-DOF v2: инструкция, схемы и примеры использования. Амперка. <http://wiki.amperka.ru/products:troyka-imu-10-dof-v2> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
3. IMU-сенсор на 10 степеней свободы v1 (Тройка-модуль). Амперка. <https://amperka.ru/product/troyka-imu-10-dof-v1> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
4. Troyka Slot Shield v2: инструкция, примеры использования и документация. Амперка. <http://wiki.amperka.ru/products:arduino-troyka-slot-shield> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
5. Troyka Slot Shield v2. Амперка. <https://amperka.ru/product/arduino-troyka-slot-shield> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
6. Arduino UNO R3. <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
7. Datasheet STMicroelectronics LIS331DLH <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis331dlh.pdf> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
8. Datasheet STMicroelectronics I3G4250D <https://www.st.com/resource/en/datasheet/i3g4250d.pdf> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
9. Datasheet STMicroelectronics LIS3MDL <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis3mdl.pdf> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
10. Datasheet STMicroelectronics LPS25HB <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lps25hb.pdf> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
11. Datasheet On Semiconductor NCP698SQ33T1G. <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/ncp698-d.pdf> (Дата обращения 22.05.2022 г.)
12. Datasheet Texas Instruments PCA9306DCT <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pca9306.pdf> (Дата обращения 22.05.2022 г.)

M.V.Proshutinsky (JSC «Ramenskoye Instrument Design Bureau», Saint Petersburg)

A technique for removing the characteristics of a microelectromechanical inertial measuring module from an autonomous small-sized mobile robot

A technique for removing output characteristics from an inertial measurement module developed on the basis of microelectromechanical sensors is presented. The first experimental data containing noise, data emission points and zero drift depending on both the operating time and on-off are obtained. The results of the study are presented in the form of statistical data and graphs of output characteristics.