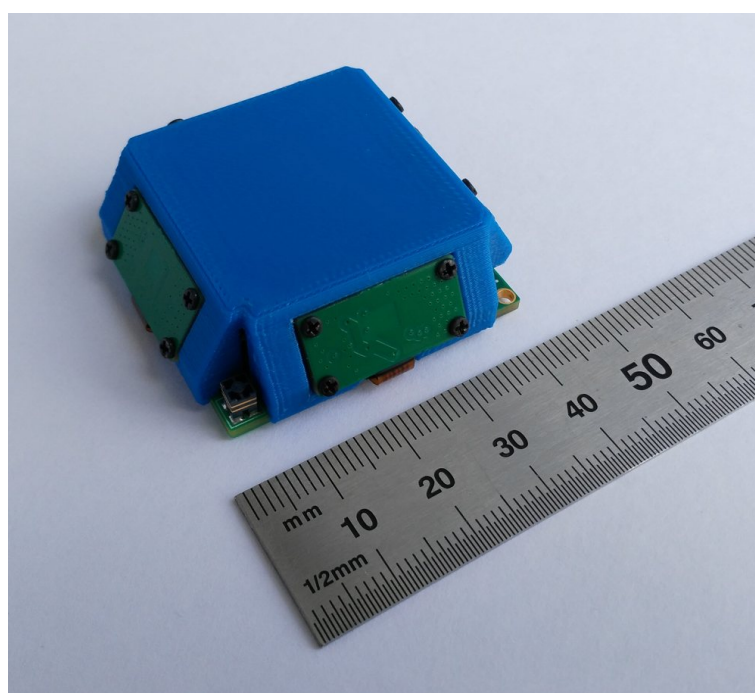


# ASCIMU — Краткое описание прототипа

Lab127 Team

Петрозаводск 2016



## 1 Общее описание

ASCIMU (Autonomous Self-Calibrated Inertial Measurement Unit) – автономный самокалибрующийся инерциальный измерительный модуль.

ASCIMU содержит:

- пять 3-осевых инерциальных и магнитных датчиков, смонтированных под углом друг к другу для исключения аппаратного дрейфа показаний датчиков,
- датчик атмосферного давления,
- микроконтроллер для предварительной обработки показаний, слияния данных и автономной самокалибрации,
- беспроводной интерфейс (Wi-Fi) с низким энергопотреблением.

Для одновременного увеличения динамического диапазона и совокупной точности измерений часть датчиков сконфигурирована в режиме максимально возможной шкалы измерений.

В зависимости от конфигурации приложения устройство может быть сконфигурировано на измерение и расчёт 3D-ориентации, угловой скорости вращения по трём осям, линейного ускорения по трём осям, индукции магнитного поля по трём осям. Устройство можно использовать как инерциальный измерительный модуль (IMU) или динамический инклинометр (VRU). К концу 2016 г. предполагается реализация функций БИНС (AHRS).

### 1.1 Применение

- Улучшение функциональности навигационных устройств, использующих глобальные навигационные системы (GPS), при помощи инерциальной навигации, детектирования поворотов и ориентации и т. п.
- Навигация внутри помещений (определение этажа, лифта).
- Навигация вне помещений для спортивных и развлекательных мероприятий.
- Беспилотные летательные аппараты.
- Робототехника.
- Протоколирование характера движения.
- Медицинские приложения (например, спирометрия).
- Детектирование вертикальных скоростей (подъём и спуск).

### 1.2 Технические характеристики

- Микроконтроллер – ARM Cortex M4 STM32F446.
- Пять инерциальных датчиков MPU9255.
- Контроллер Wi-Fi – Espressif ESP8266.
- Датчик давления – BMP280.
- Частота обновления данных – 100 Гц.
- Датчики расположены на гранях усечённой пирамиды. Углы между плоскостью нижнего датчика и плоскостями боковых датчиков –  $60^\circ$ .
- Формат данных об ориентации – кватернионы или углы Эйлера.

### 1.3 Электрические характеристики

- Встроенный литиевый аккумулятор (3.7 В, 480 мА·ч)
- Время непрерывной работы (с передачей данных по Wi-Fi) – не менее 2 час.
- Внешнее питание и зарядка – 5 В через разъём micro-USB.

### 1.4 Характеристики определения ориентации

Таблица 1. Характеристики определения ориентации

Параметр	Условия	Значение *
Крен/Тангаж	Статические	$< 2^\circ$
	Динамические	$< 5^\circ$

Рысканье	Статические/динамические, на основе магнитометра инклинометр (VRU), через 60 мин.	$< 2^\circ/10^\circ$ $8^\circ$
----------	---	-----------------------------------

\* **Примечание** — Предварительные данные. Характеристики будут получены на сертифицированной измерительной установке в октябре–ноябре 2016 г.

## 1.5 Характеристики используемых датчиков

Таблица 2. Характеристики используемых датчиков

Параметр	Мин.	Типовое	Макс.	Ед. изм.
<i>Характеристики гироскопа</i>				
Диапазон	$\pm 250$		$\pm 2000$	$^\circ/\text{с}$
Стабильность смещения		10		$^\circ/\text{час}$
Частота сбора	4	100	8000	Гц
<i>Характеристики акселерометра</i>				
Диапазон	$\pm 2$		$\pm 16$	g
Стабильность смещения		0.06		mg
Частота сбора	4	100	4000	Гц
<i>Характеристики магнитометра</i>				
Диапазон		$\pm 4800$		мкТл
Разрешение		0.6		мкТл/младший значащий бит
Максимально возможная систематическая погрешность		$\pm 500$		младших значащих битов
<i>Характеристики датчика давления</i>				
Диапазон	300		1100	гПа
Разрешение*		0.16		Па
Шум измерений**		1.3		Па
Относительная погрешность		$\pm 0.12$		гПа
Абсолютная погрешность		$\pm 1$		гПа

\* в режиме сверхвысокого разрешения (ultra high resolution mode).

\*\* в режиме сверхвысокого разрешения (ultra high resolution mode), во полной полосе пропускания.

## 1.6 Шумы и дрейф показаний датчиков

Характеристики шума и погрешность устройства были оценены в статических условиях только для одного конкретного модуля (предварительный тест). Графики дисперсии Аллана для акселерометра и гироскопа представлены на рисунках 1 и 2.

Более достоверные измерения, в том числе в динамических условиях, будут выполнены в октябре–ноябре 2016 г.

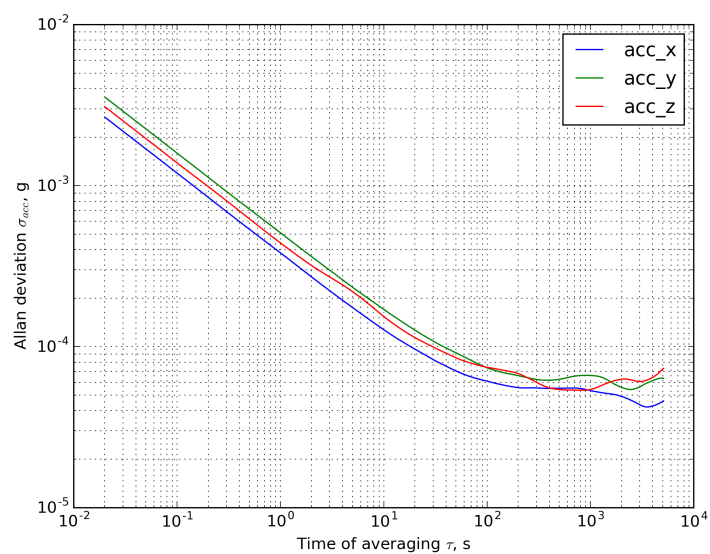


Рис. 1. Дисперсия Аллана для акселерометра в статических условиях

## 2 Архитектура программного обеспечения

Приложения
Драйверы (SPI, DMA, GPIO и др.)
Аппаратно-зависимый код

### 2.1 Блок-диаграмма

Блок-диаграмма устройства представлена на рисунке 3.

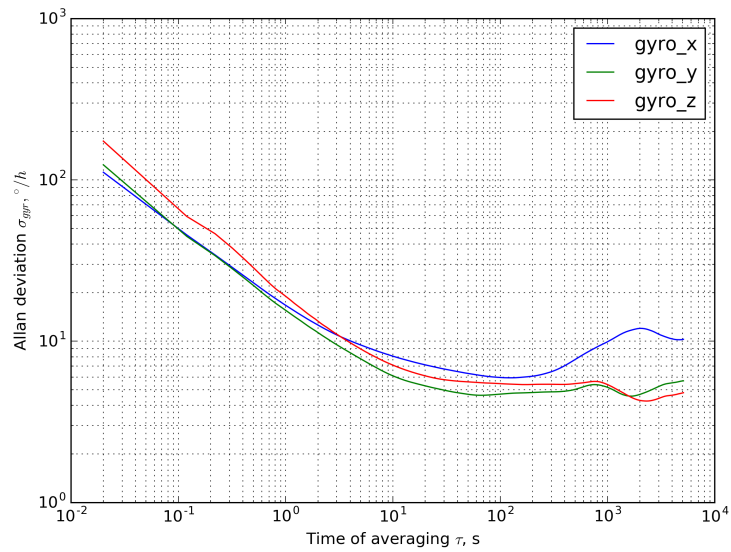


Рис. 2. Дисперсия Аллана для гироскопа в статических условиях

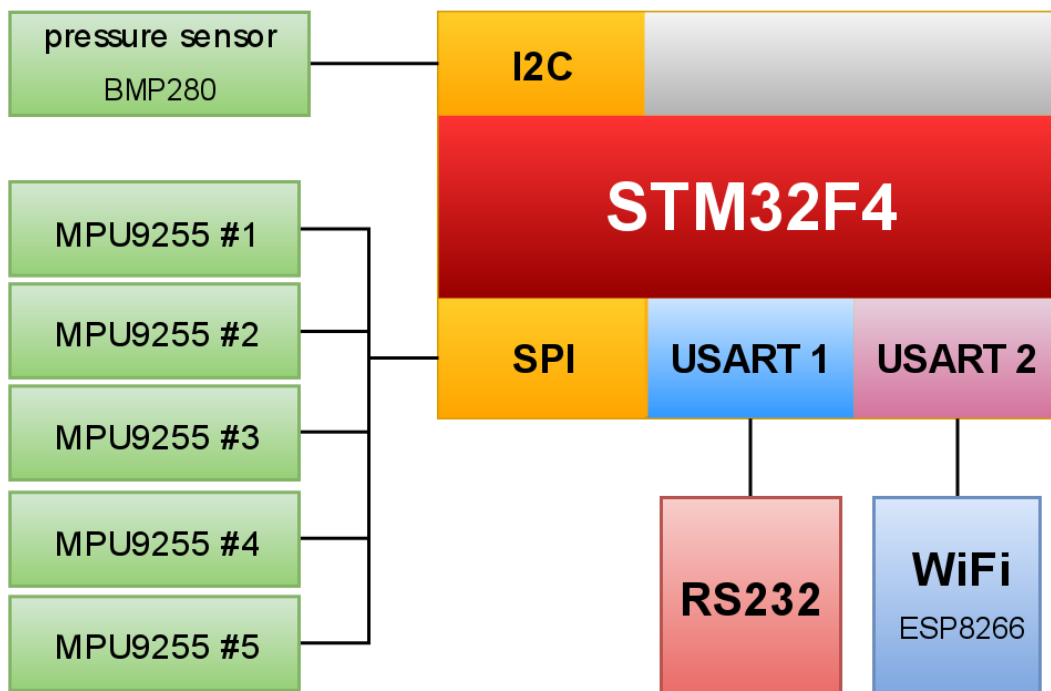


Рис. 3. Блок-диаграмма прототипа ASCIMU

## 2.2 Слияние данных

Схема обработки данных представлена на рисунке 4.

Хост-система может запросить следующие данные:

- сырые (некалиброванные) данные сенсоров (ускорение, скорость вращения, магнитное поле, давление, температура),
- скорректированные и усредненные данные сенсоров (ускорение, скорость вращения, магнитное поле),
- текущие локальные координаты,
- кватернион ориентации.

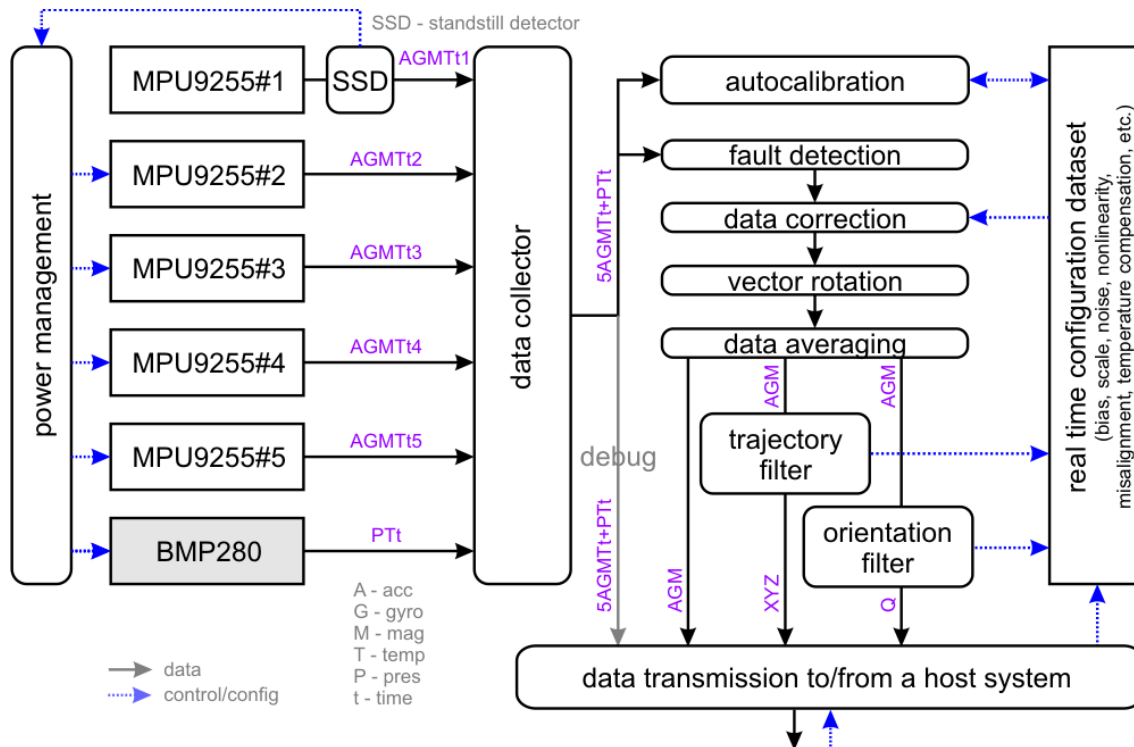


Рис. 4. Схема обработки данных

Модуль ASCIMU может работать в режиме энергосбережения. В данном режиме включен только один датчик MPU9255, который используется для определения наличия или отсутствия движения.

В активном режиме микроконтроллер считывает данные сенсоров и передает их на дальнейшую обработку. Сначала выполняется проверка полученных данных на наличие сбойных измерений и их корректировка в соответствии с текущими калибровочными значениями и настройками. Затем полученные векторы данных приводятся к общей системе координат и усредняются.

Слияние данных выполняется при помощи комплементарного фильтра. Параметры фильтра устанавливаются адаптивно в зависимости от динамики системы.

Обновление массива калибровочных данных и настроек модуля производится из нескольких источников:

- из блока автокалибровки,
- по данным расчетов фильтров ориентации и траектории или
- с помощью внешних команд от хост-системы.

В усовершенствованной схеме обработки данных все смещения акселерометров, дрейфы гироскопов и другие их погрешности будут автоматически устраняться в процедуре слияния данных. Следующая версия устройства (планируемая к выпуску ориентировочно в январе 2017 г.) будет включать механизм оценки ориентации и траектории на основе фильтра Калмана с несколькими предустановками для быстрого и медленного движения.

Ориентация может рассчитываться как с учётом показаний магнитометра, так и без учёта этих показаний.

Ориентация передаётся хост-системе в форме кватерниона или углов Эйлера в соответствии с протоколом, описанным в п. 3.

Углы Эйлера, рассчитанные для прототипа ASCIMU в условиях статического 13-часового эксперимента, показаны на рисунке 5.

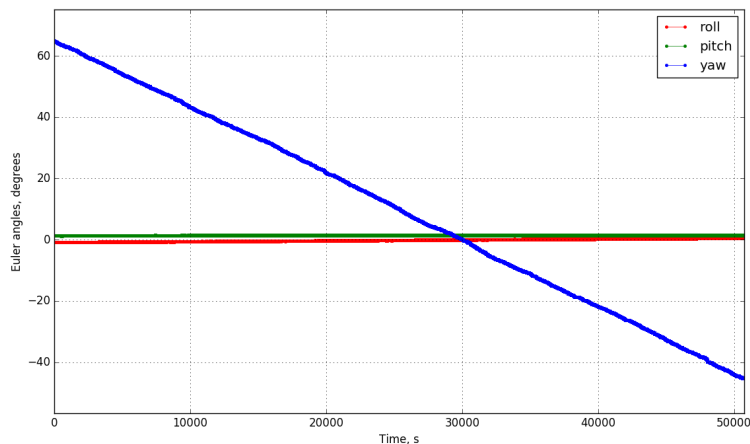


Рис. 5. Углы Эйлера, рассчитанные для прототипа ASCIMU в статических условиях без учёта показаний магнитометра

Более достоверные измерения, в том числе в динамических условиях, будут выполнены на сертифицированной измерительной установке в октябре–ноябре 2016 г.

### 2.3 Схема передачи данных

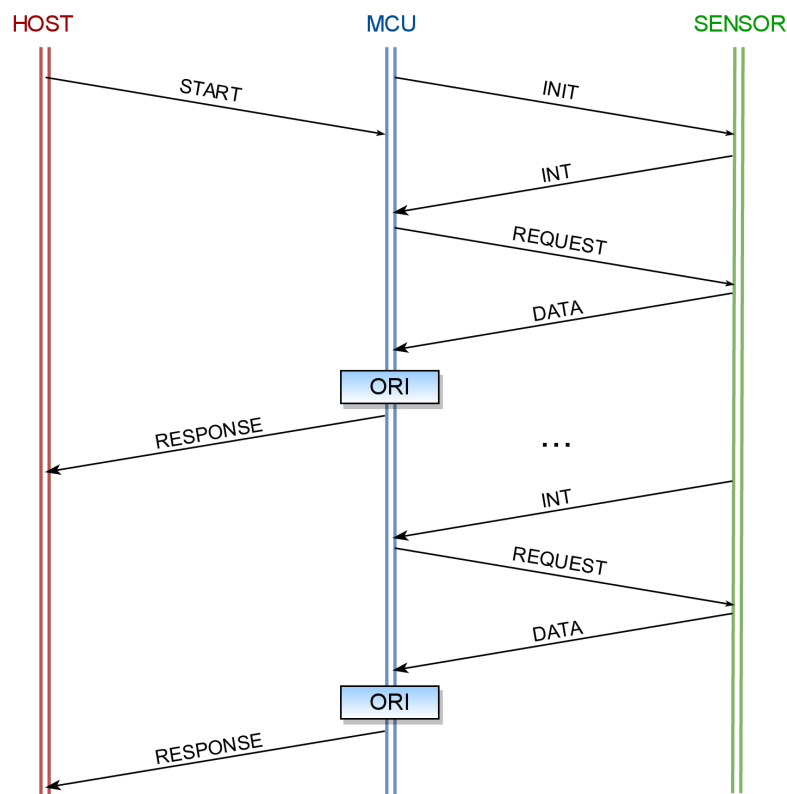


Рис. 6. Схема передачи данных

Хост-система осуществляет обмен данными с микроконтроллером ASCIMU либо через Wi-Fi, либо через интерфейс RS-232.

После инициализации и конфигурации драйверов чипов, настройки диапазонов измерений, режимов и проч. все датчики начинают выполнять непрерывные измерения. Микроконтроллер переходит в состояние готовности приёма прерываний от датчиков. При получении прерывания от датчика, микроконтроллер сохраняет метку времени и считывает данные с чипа.

### 3 Протокол передачи данных

Хост-система запрашивает данные с микроконтроллера. Для этого посылается команда начать измерения с predetermined частотой. После этого микроконтроллер с заданной периодичностью присылает результаты измерений.

Примеры форматов сообщений запроса и отклика представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4. Формат команды запуска измерений

	7	6	5	4	3	2	1	0	hex
+0	VERSION			LEN[8-11]					0x00
+1	LEN[0-7]							0x09	
+2	TYPE							0x85	
+3	DEV ID							0xF0	
+4	COUNTER[32-39]*							0xXX	
+5	COUNTER[24-31]							0xXX	
+6	COUNTER[16-23]							0xXX	
+7	COUNTER[8-15]							0xXX	
+8	COUNTER[0-7]							0xXX	

\*Примечание — Счётчик увеличивается каждую микросекунду.

Таблица 5. Формат отклика с результатами измерений

	7	6	5	4	3	2	1	0	
+0	VERSION			LEN[8-11]					
+1	LEN[0-7]								
+2	TYPE								
+3	DEV ID								
+4	COUNTER[32-39]*								
+5	COUNTER[24-31]								
+6	COUNTER[16-23]								
+7	COUNTER[8-15]								
+8	COUNTER[0-7]								
+9	CHIP			STYPE					
+10	W[0-7]								
+11	W[8-15]								
+12	W[16-23]								
+13	W[24-31]								
+14	Q0[0-7]								
+15	Q0[8-15]								
+16	Q0[16-23]								
+17	Q0[24-31]								
+18	Q1[0-7]								
+19	Q1[8-15]								
+20	Q1[16-23]								
+21	Q1[24-31]								
+22	Q2[0-7]								



+23	Q2[8-15]
+24	Q2[16-23]
+25	Q2[24-31]

CHIP – идентификатор чипа.

STYPE – тип датчика (0 – акселерометр; 1 – гироскоп; 2 – магнитометр; 3 – акселерометр + гироскоп + магнитометр).

W, Q0, Q1, Q2 – компоненты кватерниона вращения.

## 4 Электрическая схема

На рисунках 7 и 8 представлена принципиальная электрическая схема устройства.

## 5 Описание корпуса

Размеры корпуса: 43 × 43 × 15 мм.

## 6 Описание расположения и назначения контактов

Таблица 6. Контакты разъёма X1

Контакт	Сигнал
1	USART TX
2	USART CTS
3	USART RX
4	USART RTS
5	SWDIO
6	SWDCLK
7	0V
8	VCC