УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Лаборатория Микроприборов»

_____ А.С. Тимошенков
«___» _____ 2021 г.

МОДУЛЬ ИНЕРЦИАЛЬНЫЙ МГ-1

ПРОТОКОЛ
информационного взаимодействия
ЛМАП.402131.043Д1

Разработал

_____ А.В. Михеев
«___» _____ 2021 г.

Проверил

_____ А.М. Каменский
«___» _____ 2021 г.

Нормоконтролер

_____ Н.А. Соломкина
«___» _____ 2021 г.

Содержание

Содержание 2
1 Введение 3
2 Назначение 3
3 Интерфейс обмена 3
4 Представление данных 3
5 Способ передачи 3
6 Структура информационных пакетов 4
7 Формат пакетов 5
7.1 Проверка соединения 5
7.2 Программный сброс 5
7.3 Данные об изделии 5
7.4 Настройка изделия 6
7.5 Параметры наборного пакета данных МГ 12
7.6 Дополнительный интерфейс 13
7.6.1 Настройка CAN 14
7.6.2 Настройка дополнительного последовательного интерфейса 15
7.7 Запрос данных 16
7.8 Наборы данных 16
7.8.1 Выдача кодов АЦП 16
7.8.2 Выдача калиброванных данных с датчиков 16
7.8.3 Ориентация 17
7.8.4 Данные инклинометра 17
7.8.5 Наборный пакет данных 17
7.9 Компенсация смещения датчиков угловой скорости 19
7.9.1 Получение коэффициентов смещения датчиков угловой скорости. 19
7.9.2 Запись коэффициентов смещения датчиков угловой скорости. 19
7.9.3 Накопление и вычисление коэффициентов смещения гироскопов 19
8 Приложение А (справочное) Пример расчета контрольной суммы на языке С 21
8.1 Таблица 21
8.2 Функция 22
9 Лист регистрации изменений 23

1 Введение

Настоящий протокол информационного взаимодействия устанавливает характеристики связи с модулями инерциальными серии МГ-1 (далее МГ-1). Некоторые команды и информационные поля не поддерживаются всей серией МГ-1, необходимо учитывать аппаратные возможности модулей.

2 Назначение

Протокол предназначен для однозначного регламентирования скорости обмена, последовательности и типов данных, следующих в информационном обмене.

3 Интерфейс обмена

Информационное взаимодействие с модулями серии МГ-1 обеспечивается посредством следующих интерфейсов двухпроводного RS-485, RS-232, UART (в зависимости от аппаратного исполнения модулей), USB. Параметры передачи данных: 8 бит данных, без бита четности, 1 стоп-бит и настраиваемой скоростью. Скорость обмена данными, устанавливаемая при производстве 921600 бит/с.

Предельные и предельно-допустимые режимы работы интерфейсов указаны в ЛМАП.402131.043РЭ в разделе 2.1.

4 Представление данных

Порядок передачи данных от младшего к старшему. Используется little-endian порядок байт. Структуры упакованные. Типы данных:
uint8 – 8 бит целое беззнаковое число
uint16 – 16 бит целое беззнаковое число
uint32 – 32 бит целое беззнаковое число
int8 – 8 бит целое знаковое число
int16 – 16 бит целое знаковое число
int32 – 32 бит целое знаковое число
float32 – 32 бит число с плавающей точкой одинарной точности в формате IEEE 754

5 Способ передачи

Передачи по интерфейсу производятся непрерывными массивами байт – пакетами. Байт информации всегда имеет восемь бит данных и сопровождается одним стартовым битом и как минимум одним стоповым битом без бита паритета. Логически передачи соответствуют принципам «запрос-ответ» и «ведущий-ведомый» (кроме режима непрерывной передачи данных). Устройство является ведомым, и производит непрерывное прослушивание канала данных. Ведущее устройство посылает пакет-запрос, а ведомое, в течение фиксированного интервала, должно послать пакет-ответ. Выбор устройства производится с помощью поля адреса.

Исключением является режим непрерывной выдачи измеренных данных. В данном режиме устройство в соответствии с настроенной частотой выдачи данных посылает соответствующие типы пакетов. В остальном взаимодействие аналогично принципам «запрос-ответ» и «ведущий-ведомый».

Прием осуществляется целиковыми пакетами. Разделителем пакета служит задержка более 3,5 символов.

6 Структура информационных пакетов

Передача данных осуществляется попакетно. Структура пакета: заголовок фиксированной длины, поле данных переменной длины и контрольная сумма (см. рисунок 1).

Заголовок содержит служебную информацию: преамбулу (8 бит, имеет значение 0xFF), адрес устройства (8 бит), тип пакета (8 бит), длину поля данных (8 бит).

Поле данных имеет переменную длину и содержит параметры настройки модулей серии МГ, параметры данных с датчиков или их производные.

Контрольная сумма (32 бит) служит для проверки целостности переданного пакета данных. Расчет производится над массивом заголовок плюс поле данных. Значение добавляется к пакету в формате little-endian. Полином 32-й степени для расчета контрольной суммы имеет вид: $x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^{8}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{2}+x^{1}+x^{0}$ (используется в Ethernet, Gzip, и т.д.). Пример расчета контрольной суммы CRC32 на языке программирования С приведен в приложении А (стр. 21).

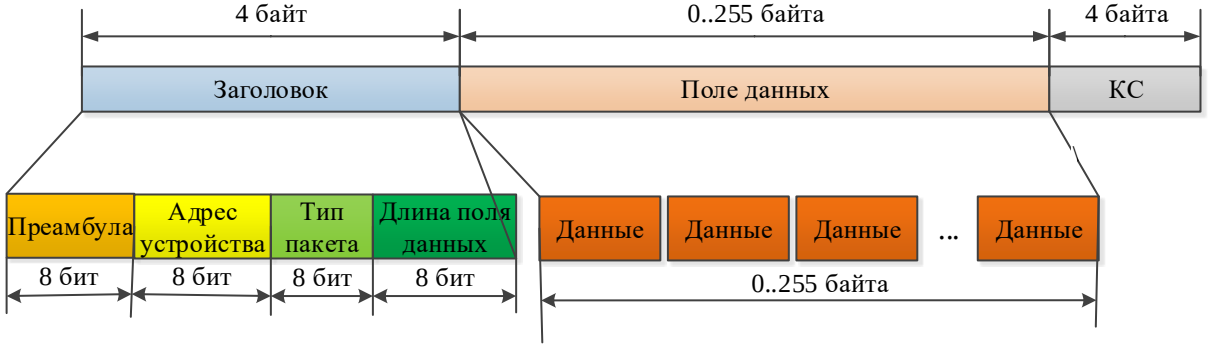


Рисунок 1 – Структура пакета

Пример структуры на языке С:

```
#define MAX_LENGTH 255
struct
{
  uint8 preamble;
  uint8 address;
  uint8 packet_type;
  uint8 length;
  uint8 data[MAX_LENGTH +4]; // data + CRC32
};
```

7 Формат пакетов

В разделе описаны:
- тип пакета;
- длина поля данных;
- поле данных;

7.1 Проверка соединения

Используется для определения подключения изделия к интерфейсу.

Запрос:

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x00
Длина поля данных	0

Ответ:

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x00
Длина поля данных	0

Внимание! Ответ с типом пакета 0x00, также возвращается в качестве подтверждения на все пакеты (включая с неподдерживаемым типом), которые не подразумевают ответа специфичного типа.

7.2 Программный сброс

Используется для перезагрузки вычислителя

Запрос:

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x01
Длина поля данных	0

Ответ:

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x00
Длина поля данных	0

7.3 Данные об изделии

Используется для получения данных об изделии и его работоспособности

Запрос:

Назначение	Заполнение	
Тип пакета	0x04	
Длина поля данных	0	

Ответ:

Назначение	Заполнение	Примечание
Тип пакета	0x05	
Длина поля данных	0x2B	

Версия загрузчика	uint16	Номер версии в кодировке производителя
Версия прошивки	uint16	Номер версии в кодировке производителя
Дата производства	uint32	Дата производства в формате UTC
Серийный номер	char[16]	Дата производства в кодировке производителя в формате ASCII
Название изделия	char[16]	Код изделия в формате ASCII
Режим работы изделия	uint8	Используется на этапе производства
Статус данных	uint16	Битовое поле

Режим работы изделия

Значение регистра	Описание
0	Режим, загрузчик (нет рабочей прошивки)
1	Резерв
2	Режим, рабочая программа
3	Резерв

Статус данных (битовое поле)

Биты	Описание
15…12	Резерв
11	Метка времени ГНСС приемника (1PPS)
10	Значение канала «Вход синхросигнала» 1 – более 2,2 В 0 – менее 1 В
6..9	Резерв
5	Отказ акселерометра 1 – Отказ
4	Отказ датчика угловой скорости 1 - Отказ
3	Отказ АЦП 1 – Отказ
2	Пропуск данных АЦП 1 – Были зафиксированы пропуски
1	Переполнение очереди отправки данных 1 – Очередь отправки была переполнена
0	Значение канала «Выход синхросигнала» 1 – более 2,5 В 0 – менее 0,5 В

7.4 Настройка изделия

Используется для настройки режимов работы изделия

Запрос

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x06
Длина поля данных	0

Запись/Ответ

Назначение	Заполнение	Примечание
Тип пакета	0x07	
Длина поля данных	0x3E	
Маска изменения формата данных	uint32	
Формат данных	uint32	
Маска изменения параметров выдачи данных	uint32	
Скорость основного интерфейса	uint8	
Адрес изделия в протоколе последовательного интерфейса	uint8	Адрес изделия может быть задан от 1 до 255. При производстве адрес равен 1. При посылке пакета с адресом равным 0, ответят все изделия на линии (широковещательная посылка).
Частота выдачи данных	uint16	
Алгоритм расчётов	uint8	
Диапазон измерения датчиков угловой скорости[1)]	uint8	По умолчанию диапазон измерения датчиков угловой скорости ± 500 °/с
Диапазон измерения акселерометров[1)]	uint8	По умолчанию диапазон измерения акселерометров 10 g
Предделитель выходного синхросигнала	uint16	
DCM (1,1)	float32	Матрица поворота (3х3) измеренных данных. По умолчанию единичная.
DCM (1,2)	float32	
DCM (1,3)	float32	
DCM (2,1)	float32	
DCM (2,2)	float32	
DCM (2,3)	float32	
DCM (3,1)	float32	
DCM (3,2)	float32	
DCM (3,3)	float32	
Резерв	uint8	
Пропуск выходных пакетов данных	uint8	При использовании алгоритмов ориентации и навигации уменьшение частоты выдачи данных необходимо регулировать пропуском пакетов.
Резерв	uint8	Не используется
Диапазон измерения канала магнитометра	uint8	
Тип входа внешней синхронизации	uint8	

Примечание: 1) Модуль калибруется на одном диапазоне измерения угловой скорости и кажущегося линейного ускорения, указанный в этикетке или паспорте на изделие.

Маска изменения формата данных – маска предназначена для выборочного изменения, накладываемая на формат данных для изменения необходимых битов. 1 – бит может меняться, 0 – бит не может изменяться.

Формат данных (битовое поле)

Биты	Описание
31…13	Резерв (заполнить 0)
12	Посылка пакета с данными по готовности 1 – Посылка по готовности (данные отправляются сразу после обновления) 0 – Синхронизация с получением измерения (данные отправляются по такту от АЦП)
11	Резерв
10	Посылка наборного пакета данных 0 = посылка пакетов данных, в соответствии с алгоритмом 1 = посылка наборного пакета данных
9	Тип выходного сигнала синхронизации 0 = импульсы по приходу сэмпла 1 = переключение по приходу сэмпла
8	Инверия оси Z после преобразования СК 0 = без инверсии 1 = инверсия
7	Инверия оси Y после преобразования СК 0 = без инверсии 1 = инверсия
6	Инверия оси X после преобразования СК 0 = без инверсии 1 = инверсия
5…3	Преобразование системы координат 0 = XYZ->XYZ; 1 = XYZ->YZX 2 = XYZ->ZXY 3 = XYZ->XZY 4 = XYZ->YXZ 5 = XYZ->ZYX
2	Ед. изм. углов 0 = °, 1 = рад
1	Ед. изм. угловой скорости 0 = °/с, 1 = рад/с
0	Ед. изм. кажущегося ускорения 0 = g; 1 = м/с^2 (умножение на 9.8152648562579)

Примечание:

При изменении матрицы поворота или инвертировании осей важно:

Правая тройка – вращение угловой скорости по часовой стрелке при наблюдении от начала вектора

Левая тройка – вращение угловой скорости против часовой стрелки при наблюдении от начала вектора.

Маска изменения параметров выдачи данных – *предназначена для выборочного (побитового) изменения регистра параметров выдачи данных*

Биты	Описание
31…10	Резерв
9	Установка пропуска выходных пакетов данных
8	Установка типа оборудования на дополнительном RS-485
7	Установка матрицы поворота DCM (направляющих косинусов)
6	Установка предделителя выходного синхросигнала
5	Установка диапазона акселерометров
4	Установка диапазона датчиков угловой скорости
3	Установка выходных данных (алгоритма расчётов)
2	Установка частоты выдачи данных
1	Установка адреса последовательного интерфейса
0	Установка скорости основного последовательного интерфейса

Скорость основного интерфейса

Значение регистра	Скорость, бит/с
0	921600
1	460800
2	230400
3	115200
4	1000000
5	2000000
6	3000000

Частота выдачи инерциальных данных

Частота выдачи ***инерциальных (ускорения, угловые скорости, температуры, магнитное поле, давление)*** данных расчитывается по формуле:

$$Fвых = \frac{1кГц}{ДЕЛ},$$

где ДЕЛ – значение регистра $F_{вых}$ - частота выдачи данных, причем если ДЕЛ = 0, то данные выдаются по запросу.

Внимание! При использовании алгоритмов ориентации частота выдачи инерциальных данных должна быть фиксированной и равна 1 кГц. Задать частота выдачи данных алгоритмов ориентации возможно используя «***Пропуск выходных пакетов данных»***.

Предделитель выходного синхросигнала

Частота выдачи данных вычисляется по формуле:

Fвыхсинхр=Fвых/ДЕЛ,

где ДЕЛ – значение регистра Предделитель выходного синхросигнала, значение ДЕЛ = 0 эквивалентно = 1.

Пропуск выходных пакетов данных

Задание пропуска выходных пакетов данных. Частота выдачи данных алгоритма вычисляется по формуле:

Fвых = Fвых/(ПРОПУСК+1).

где ПРОПУСК – значение регистра *Пропуск выходных пакетов данных*.

Внимание! При установке пропуска пакетов *счетчик пакетов* будет выдаваться с учетом значения «ПРОПУСК».

Алгоритм расчётов

Значение регистра	Набор данных
0	Выдача кодов АЦП (см. п. 7.8.1)
1	Выдача калиброванных данных с датчиков (см. п. 7.8.2)
2	Алгоритм вычисления ориентации (крен, тангаж и курс фильтр Калмана см. п. 7.8.3)
4	Алгоритм вычисления углов склонения (инклинометр см. п. 7.8.4)
7	Заказной*
5, 6, 8, 9	Резерв.

Примечание – Набор данных «Заказной» предназначен для реализации специфичного выходного протокола под конкретного заказчика

Пропуск выходных пакетов данных

Устанавливается пропуск выходных данных, актуально для фильтрованных и навигационных данных. При выдаче данных с датчиков использование пропуска может дать алиайзинг (появление ложной низкочастотной разностной частоты). 0 – пропуск выключен.

Скорость обмена дополнительного RS-485

Значение регистра	Скорость, бит/с
0	921 600
1	460 800
2	230 400
3	115 200
4	1 000 000
5	2 000 000
6	3 000 000
7	4 000 000
8	500 000
9	57 600
10	38400
11	19200
12	9600

Диапазон магнитометра

Значение регистра	Диапазон измерения, мТл (Гаусс)

Значение регистра	Диапазон измерения, мТл (Гаусс)
0	± 0,8 (± 8)

Тип входа внешней синхронизации

Значение регистра	Тип синхронизации
0	Значение входа отражается в статусе бит 0 (длительность сигнала должна быть более 1 мс)
1	Прием сигнала секундной метки от ГНСС приемника (1PPS). Фиксация по прерыванию.
2	Выдача данных по импульсу
3	Счетчик входных сигналов. Инкремент на каждый импульс. Работает по прерыванию.

Внимание! При получении пакета типа 0x07 (запись параметров), производится запись настраиваемых параметров в энергонезависимую память. Таким образом, настроенное устройство сохраняет параметры после сброса питания. Ответ 0x00 посылается после записи. Время записи может достигать 1000 мс, в это время устройство не производит измерения.

Примечание - Данные зарезервированных полей не влияют на работу устройства.

7.5 Параметры наборного пакета данных МГ

Запрос

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x26
Длина поля данных	0

Запись/Ответ

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x27
Длина поля данных	0x40
Количество параметров в наборном пакете Диапазон [0, 63]	uint8
Тип параметра 0	uint8
***	***
Тип параметра 63	uint8

«Количество параметров в наборном пакете» устанавливает количество выдаваемых параметров в пакете с типом 0x13, максимально можно сформировать пакет из 64 параметров. Не используемые поля типы параметров могут иметь любое значение.

Типы параметров представлены в таблице ниже:

Идентификатор типа параметра	**Название переменной**	**Описание**
0	status	статусное слово
1	sample_cnt	счетчик сэмплов (от 0 до 2^{16})
2	nax	оси X, Y, Z акселерометра в кодах АЦП
3	nay	
4	naz	
5	nwx	угловая скорость осей X, Y, Z в кодах АЦП
6	nwy	
7	nwz	
8	nta	температура акселерометра в кодах АЦП
9	ntw	температура датчика угловой скорости в кодах АЦП
10	nmagx	магнитное поле осей X, Y, Z в кодах АЦП
11	nmagy	
12	nmagz	
13	nbaro	абсолютное давление в кодах АЦП
14..17		резерв
18	ax	калиброванное значение осей X, Y, Z акселерометра
19	ay	
20	az	
21	wx	калиброванное значение угловой скорости осей X, Y, Z
22	wy	
23	wz	
24	ta	температура акселерометра в °C
25	tw	температура датчика угловой скорости в °C

Идентификатор типа параметра	Название переменной	Описание
26	magx	магнитное поле осей X,Y, Z после наложения калибровочных коэффициентов
27	magy	
28	magz	
29	baro	абсолютное давление в Па
30..33		резерв
34	alfa	угол alfa инклинометра (между осью X и горизонтом)
35	beta	угол beta инклинометра (между осью Y и горизонтом)
36	pitch	угол тангажа ориентации
37	roll	угол крена ориентации
38	yaw	угол курса ориентации
39	q0	q0 кватерниона ориентации
40	q1	q1 кватерниона ориентации
41	q2	q2 кватерниона ориентации
42	q3	q3 кватерниона ориентации

Внимание! Выбор параметра для посылки не приводит к его расчету алгоритмом. То есть, например, при выборе параметров, связанных с ориентацией, необходимо также, чтобы был выбран алгоритм, подразумевающий вычисление углов ориентации.

Примечание – Параметры наборного пакета, по умолчанию, выдаются в типом float (4 байта), если не указано иное.

7.6 Дополнительный интерфейс

Настройка дополнительных интерфейсов осуществляется типом пакета 0x30.

Запрос

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x30
Длина поля данных	4 + k
Выбор интерфейса	uint8
Тип команды	uint8
Индекс CAN сообщения	uint8
Резерв	uint8

Если на запрос возвращается длина пакета равная 0 – данный тип интерфейса не поддерживается.

Запись/Ответ

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x30
Длина поля данных	4 + k
Выбор интерфейса	uint8
Тип команды	uint8
Индекс CAN сообщения	uint8
Резерв	uint8
Переменная часть 0	uint8

***	
Переменная часть k	uint8

Запрос необходимого параметра формируется отсутствием переменной части.

Выбор настраиваемого интерфейса

Значение регистра	Назначение
0	Основной интерфейс
1	Дополнительный интерфейс
2..9	Резерв
10	Интерфейс CAN

Выбор типа настройки

Значение регистра	Назначение
1	Настройка конфигурации (CMD_CONFIG)
10	Настройка выдаваемых сообщений (CMD_MESSAGE)

7.6.1 Настройка CAN

Настройка конфигурации CAN (тип настройки 1 - CMD_CONFIG)

Поле основной структуры	Значение регистра	Описание
Переменная часть [0..1] uint16	0	Интерфейс отключен
	50	Скорость 50 кбит/с
	100	Скорость 100 кбит/с
	125	Скорость 125 кбит/с
	250	Скорость 250 кбит/с
	500	Скорость 500 кбит/с
	1000	Скорость 1000 кбит/с

Настройка выдаваемых сообщений CAN (тип настройки 10 - CMD_ MESSAGE)

Поле основной структуры	Значение регистра	Описание
Индекс uint8	0x01	Статус и счетчик
	0x11	Угловая скорость
	0x12	Акселерометр
	0x13	Магнитометр
	0x14	Барометр
	0x15	Температура
	0x21	Ориентация углы Эйлера
	0x22	Ориентация кватернион
	0x23	Инклинометр
	0x31	Координаты широта и долгота
	0x32	Координаты высота
	0x33	Координаты в NED X, Y
	0x34	Скорость X, Y, Z в связанной СК

Переменная часть [0..1] uint16	prescaler	Предделитель от 1 кГц Fвых = 1 кГц/ prescaler, 0 – сообщение отключено
Переменная часть [2..5] uint32	id	ID сообщения в CAN Для формирования расширенного кадра (extended frame) старший байт = 0x80

7.6.2 Настройка дополнительного последовательного интерфейса

Настройка конфигурации последовательного интерфейса (тип настройки 1 - CMD_CONFIG)

Поле основной структуры	Значение регистра	Описание
Скорость интерфейса uint16	0	Скорость 921600 бит/с
	1	Скорость 460800 бит/с
	2	Скорость 230400 бит/с
	3	Скорость 115200 бит/с
	4	Скорость 1 Мбит/с
	5	Скорость 2 Мбит/с
	6	Скорость 3 Мбит/с
	7	Скорость 4 Мбит/с
	8	Скорость 500000 бит/с
	9	Скорость 921600 бит/с
	10	Скорость 38400 бит/с
	11	Скорость 19200 бит/с
	12	Скорость 9600 бит/с
Протокол uint16	0	Отключен
	1	Резерв
	2	Дублирование основного интерфейса
	10	Прием данных от ГНСС NV-08C-CSM (типы 0x41, 0x60, 0x61, 0x84, 0x88)
	20	Прием данных от ГНСС Ublox (PVT, RELPOSNED, HHPOSLLH)
	100	Пользовательский
Интерфейс uint16	0	UART
	1	RS-232
	2	RS-485_2W полудуплекс

7.7 Запрос данных

Если в регистре параметров ДЕЛ = 0 – выдача данных по запросу – получение данных производится посылкой следующего запроса:

Запрос

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x17
Длина поля данных	0

Ответом является тип данных, заданный в параметрах.

7.8 Наборы данных

Наборы задаются в регистре ***«Настройка изделия»*** в поле «***Наборы данных»***.

Рекомендуется пользоваться наборным пакетом.

7.8.1 Выдача кодов АЦП

Назначение		Заполнение
Тип пакета		0x0A
Длина поля данных		0x30
Счетчик пакетов		uint16
Статус данных		uint16
Сигнал акселерометров в кодах АЦП	X	int32
	Y	int32
	Z	int32
Сигнал угловой скорости в кодах АЦП	X	int32
	Y	int32
	Z	int32
Сигнал температуры акселерометра в кодах АЦП		int16
Сигнал температуры датчика угловой скорости в кодах АЦП		int16
Сигнал магнитного поля в кодах АЦП	X	int32
	Y	int32
	Z	int32
Сигнал абсолютного давления в кодах АЦП		int32

7.8.2 Выдача калиброванных данных с датчиков

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x0B
Длина поля данных	0x34
Счетчик пакетов	uint16
Статус данных	uint16

Сигнал акселерометров, приведенные к g или м/с^2	X	float32
	Y	float32
	Z	float32
Сигнал датчиков угловой скорости, приведенные к °/с или рад./с	X	float32
	Y	float32
	Z	float32
Сигнал температуры акселерометра, приведенные к °С		float32
Сигнал температуры датчика угловой, приведенные к °С		float32
Сигнал магнитного поля нормированный к 1	X	float32
	Y	float32
	Z	float32
Сигнал абсолютного давления, приведенный к Па		float32

7.8.3 Ориентация

Алгоритм ориентации выбирается в регистре «Настройка изделия» поле «Набор данных»

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x0C
Длина поля данных	0x10
Счетчик пакетов	uint16
Статус данных	uint16
Тангаж	float32
Крен	float32
Курс	float32

7.8.4 Данные инклинометра

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x0D
Длина поля данных	0x0C
Счетчик пакетов	uint16
Статус данных	uint16
Альфа	float32
Бета	float32

7.8.5 Наборный пакет данных

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x13
Длина поля данных	0x4 – 0xFF
Параметр 1	float32[1)]
***	***
Параметр 63	float32

Набор и количество параметров задается пакетом «Параметры наборного пакета данных МГ».

Примечание: 1) По умолчанию представление параметра float32, если не сказано иное.

7.9 Компенсация смещения датчиков угловой скорости

Команда записывает в флеш память смещение нуля в кодах АЦП.

7.9.1 Получение коэффициентов смещения датчиков угловой скорости.

Запрос

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x1D
Длина поля данных	0

Ответ

Назначение		Заполнение
Тип пакета		0x1E
Длина поля данных		48
ДУС	x	int32_t
	y	int32_t
	z	int32_t

7.9.2 Запись коэффициентов смещения датчиков угловой скорости.

Запрос

Назначение		Заполнение
Тип пакета		0x1E
Длина поля данных		48
ДУС	x	int32_t
	y	int32_t
	z	int32_t

Ответ

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x1D
Длина поля данных	0

Коэффициенты записываются в флэш-память.
Внимание! Коэффициенты применяются до калибровки.

7.9.3 Накопление и вычисление коэффициентов смещения гироскопов.

Запрос

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x1C
Длина поля данных	4
samples	uint32_t

Ответ

Назначение	Заполнение
Тип пакета	0x00
Длина поля данных	0

При получении данной команды устройство накапливает по samples значений угловых скоростей датчиков угловой скорости. Затем производится усреднение полученных значений, вычисление значения смещения исходя из калибровки, расчет значения смещения в кодах АЦП, запись во флэш-память. Алгоритм работает таким образом, чтобы из значения угловой скорости после калибровки исключить постоянную составляющую смещения нуля. Во время работы алгоритма устройство не посылает данные и не отвечает.

8 Приложение А

(справочное)

Пример расчета контрольной суммы на языке С

8.1 Таблица

```
static uint32_t crc32_tab[] = {
        0x00000000, 0x77073096, 0xee0e612c, 0x990951ba, 0x076dc419, 0x706af48f,
        0xe963a535, 0x9e6495a3, 0x0edb8832, 0x79dcb8a4, 0xe0d5e91e, 0x97d2d988,
        0x09b64c2b, 0x7eb17cbd, 0xe7b82d07, 0x90bf1d91, 0x1db71064, 0x6ab020f2,
        0xf3b97148, 0x84be41de, 0x1adad47d, 0x6ddde4eb, 0xf4d4b551, 0x83d385c7,
        0x136c9856, 0x646ba8c0, 0xfd62f97a, 0x8a65c9ec, 0x14015c4f, 0x63066cd9,
        0xfa0f3d63, 0x8d080df5, 0x3b6e20c8, 0x4c69105e, 0xd56041e4, 0xa2677172,
        0x3c03e4d1, 0x4b04d447, 0xd20d85fd, 0xa50ab56b, 0x35b5a8fa, 0x42b2986c,
        0xdbbbc9d6, 0xacbcf940, 0x32d86ce3, 0x45df5c75, 0xdcd60dcf, 0xabd13d59,
        0x26d930ac, 0x51de003a, 0xc8d75180, 0xbfd06116, 0x21b4f4b5, 0x56b3c423,
        0xcfba9599, 0xb8bda50f, 0x2802b89e, 0x5f058808, 0xc60cd9b2, 0xb10be924,
        0x2f6f7c87, 0x58684c11, 0xc1611dab, 0xb6662d3d, 0x76dc4190, 0x01db7106,
        0x98d220bc, 0xefd5102a, 0x71b18589, 0x06b6b51f, 0x9fbfe4a5, 0xe8b8d433,
        0x7807c9a2, 0x0f00f934, 0x9609a88e, 0xe10e9818, 0x7f6a0dbb, 0x086d3d2d,
        0x91646c97, 0xe6635c01, 0x6b6b51f4, 0x1c6c6162, 0x856530d8, 0xf262004e,
        0x6c0695ed, 0x1b01a57b, 0x8208f4c1, 0xf50fc457, 0x65b0d9c6, 0x12b7e950,
        0x8bbeb8ea, 0xfcb9887c, 0x62dd1ddf, 0x15da2d49, 0x8cd37cf3, 0xfbd44c65,
        0x4db26158, 0x3ab551ce, 0xa3bc0074, 0xd4bb30e2, 0x4adfa541, 0x3dd895d7,
        0xa4d1c46d, 0xd3d6f4fb, 0x4369e96a, 0x346ed9fc, 0xad678846, 0xda60b8d0,
        0x44042d73, 0x33031de5, 0xaa0a4c5f, 0xdd0d7cc9, 0x5005713c, 0x270241aa,
        0xbe0b1010, 0xc90c2086, 0x5768b525, 0x206f85b3, 0xb966d409, 0xce61e49f,
        0x5edef90e, 0x29d9c998, 0xb0d09822, 0xc7d7a8b4, 0x59b33d17, 0x2eb40d81,
        0xb7bd5c3b, 0xc0ba6cad, 0xedb88320, 0x9abfb3b6, 0x03b6e20c, 0x74b1d29a,
        0xead54739, 0x9dd277af, 0x04db2615, 0x73dc1683, 0xe3630b12, 0x94643b84,
        0x0d6d6a3e, 0x7a6a5aa8, 0xe40ecf0b, 0x9309ff9d, 0x0a00ae27, 0x7d079eb1,
        0xf00f9344, 0x8708a3d2, 0x1e01f268, 0x6906c2fe, 0xf762575d, 0x806567cb,
        0x196c3671, 0x6e6b06e7, 0xfed41b76, 0x89d32be0, 0x10da7a5a, 0x67dd4acc,
        0xf9b9df6f, 0x8ebeeff9, 0x17b7be43, 0x60b08ed5, 0xd6d6a3e8, 0xa1d1937e,
        0x38d8c2c4, 0x4fdff252, 0xd1bb67f1, 0xa6bc5767, 0x3fb506dd, 0x48b2364b,
        0xd80d2bda, 0xaf0a1b4c, 0x36034af6, 0x41047a60, 0xdf60efc3, 0xa867df55,
        0x316e8eef, 0x4669be79, 0xcb61b38c, 0xbc66831a, 0x256fd2a0, 0x5268e236,
        0xcc0c7795, 0xbb0b4703, 0x220216b9, 0x5505262f, 0xc5ba3bbe, 0xb2bd0b28,
        0x2bb45a92, 0x5cb36a04, 0xc2d7ffa7, 0xb5d0cf31, 0x2cd99e8b, 0x5bdeae1d,
        0x9b64c2b0, 0xec63f226, 0x756aa39c, 0x026d930a, 0x9c0906a9, 0xeb0e363f,
        0x72076785, 0x05005713, 0x95bf4a82, 0xe2b87a14, 0x7bb12bae, 0x0cb61b38,
        0x92d28e9b, 0xe5d5be0d, 0x7cdcefb7, 0x0bdbdf21, 0x86d3d2d4, 0xf1d4e242,
        0x68ddb3f8, 0x1fda836e, 0x81be16cd, 0xf6b9265b, 0x6fb077e1, 0x18b74777,
        0x88085ae6, 0xff0f6a70, 0x66063bca, 0x11010b5c, 0x8f659eff, 0xf862ae69,
        0x616bffd3, 0x166ccf45, 0xa00ae278, 0xd70dd2ee, 0x4e048354, 0x3903b3c2,
        0xa7672661, 0xd06016f7, 0x4969474d, 0x3e6e77db, 0xaed16a4a, 0xd9d65adc,
        0x40df0b66, 0x37d83bf0, 0xa9bcae53, 0xdebb9ec5, 0x47b2cf7f, 0x30b5ffe9,
        0xbdbdf21c, 0xcabac28a, 0x53b39330, 0x24b4a3a6, 0xbad03605, 0xcdd70693,
        0x54de5729, 0x23d967bf, 0xb3667a2e, 0xc4614ab8, 0x5d681b02, 0x2a6f2b94,
        0xb40bbe37, 0xc30c8ea1, 0x5a05df1b, 0x2d02ef8d
};
```

8.2 Функция

```
uint32_t crc32(uint32_t crc, const void *buf, size_t size)
{
        uint32 crc = 0x0000;
        const uint8_t *p;

        p = buf;
        crc = crc ^ ~0U;

        while (size--)
                crc = crc32_tab[(crc ^ *p++) & 0xFF] ^ (crc >> 8);

        return crc ^ ~0U;
}
```

9 Лист регистрации изменений

№ п/п	Дата	Версия	Краткое содержание изменений	№№ изменяемых листов
1	08.02.2021	1	Основные правки	