

УДК 62-1/-9

## ОБЗОР ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ С МЭМС-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Малыгин А.Д., магистрант гр. ЭАм-191, I курс

Научный руководитель: Гаргаев А.Н., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Важной частью любого технологического процесса является мониторинг и контроль параметров, а также управление режимами работы входящего в состав оборудования. Для получения оперативной информации о текущем состоянии объекта наблюдения используются различные типы датчиков.

В настоящее время большое распространение получили датчики, основанные на электромеханических системах (МЭМС). Их популярность обусловлена относительно низкой ценой и малыми габаритами [2]. Датчики оснащаются внутренней электроникой и не имеют подвижных частей. Вследствие этого они обеспечивают высокую надежность и способность обеспечивать стабильные показания в различных условиях окружающей среды. Одними из широко используемых датчиков являются МЭМС акселерометры. В таблице 1 приведены их основные характеристики.

Таблица 1  
Основные характеристики МЭМС акселерометров

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания	1,71...3,3 В
2	Количество чувствительных осей	1...3
3	Диапазон измерения	$\pm 2g \dots \pm 400g$
4	Вид выходного сигнала	Цифровой, аналоговый
5	Разрешающая способность цифрового сигнала	8...16 бит
6	Разрешающая способность аналогового сигнала	Зависит АЦП микроконтроллера
7	Интерфейс передачи цифровых данных	I2C, SPI
8	Частота обновления данных	3,25...6667 Гц
9	Диапазон рабочих температур	-40...+85 °C
11	Дополнительные возможности	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Температурный датчик;</li> <li>• Машина состояний;</li> <li>• Машинное обучение;</li> <li>• Очередь FIFO.</li> </ul>

Одной из задач при использовании МЭМС акселерометров в любой измерительной системе является организация сбора данных. Типичная структура передачи данных приведена на рис. 1. Каждый этап передачи данных от акселерометра до Главного устройства характеризуется своим интерфейсом и используемым протоколом.

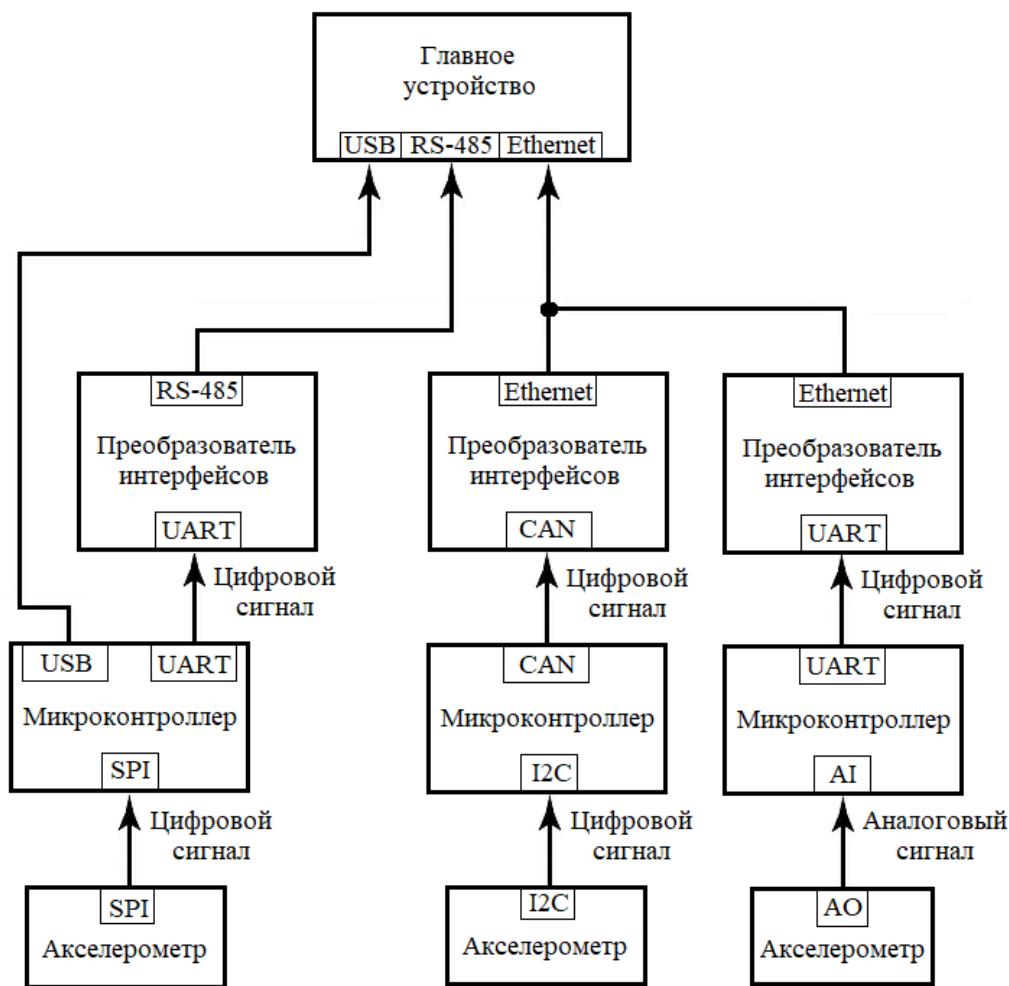


Рис. 1. Структура передачи данных с МЭМС акселерометра

Большинство акселерометров с цифровым интерфейсом предоставляют возможность конфигурирования своих параметров, таких как диапазон измерения, выбор рабочих осей, параметров ФНЧ и ФВЧ, частоты обновления данных и т.д. путем изменения конфигурационных регистров. В этом случае первым этапом в передаче данных является конфигурация акселерометра с необходимыми параметрами. Некоторые современные акселерометры имеют дополнительный функционал в виде программируемой машины состояний и машинного обучения. Машина состояний представляет собой конечный автомат, реализующий определенный пользовательский алгоритм. Такими алгоритмами могут быть сигнализирование о превышении порога ускорения по одной определенной оси или одновременно по всем осм, последовательном

---

превышение по некоторым осям и т.д. Этот функционал позволяет перенести часть обработки данных с микроконтроллера на акселерометр. Машинное обучение в акселерометре позволяет определить, соответствуют ли данные определенному пользователем набору шаблонов. Типичными примерами могут быть обнаружение активности, например, бег, ходьба, вождение и т.д. Входные данные могут быть отфильтрованы с использованием отдельно настраиваемого блока вычислений, содержащего фильтры и функции, вычисленные в фиксированном временном окне, определенном пользователем [3].

На втором этапе производится сбор и обработка данных по доступным осям акселерометра с помощью микроконтроллера (МК). В зависимости от вида выходного сигнала сбор данных может осуществляться следующими способами:

1. При аналоговом выходном сигнале производится его преобразование в цифровой код аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) микроконтроллера.

2. При цифровом выходном сигнале происходит чтение регистров данных акселерометра, в котором записаны измеряемые ускорения, по определенному интерфейсу. Самыми распространеными цифровыми интерфейсами передачи данных между датчиками и МК являются I2C и SPI. В зависимости от интерфейса изменяется и количество линий связи между датчиком и МК: для I2C – две линии SCL и SDA, а для SPI – четыре линии MOSI, MISO, SCLK и CS.

На третьем этапе производится формирование пакета данных со значениями ускорений и его передача Главному устройству с использованием преобразователя интерфейсов. Выбор интерфейса передачи выполняется исходя из доступных интерфейсов МК и Главного устройства, а также параметров канала передачи данных. Самым распространенным интерфейсом для передачи данных между устройствами является последовательный интерфейс UART. Он имеет 3 проводника – 2 линии связи Rx, Tx и провод GND. В настоящее время многие МК имеют аппаратную поддержку CAN и USB интерфейсов, которые используются вместо UART.

В промышленности наибольшее распространение получили интерфейсы RS-232, RS-422, RS-485 и Ethernet [4]. Их основные характеристики приведены в таблице 2. В связи с тем, что большинство МК не имеют аппаратную поддержку данных интерфейсов, возникает необходимость использования специальных преобразователей интерфейсов.

Также преобразователи используются при различии интерфейсов передачи данных МК и Главного устройства. При использовании персонального компьютера (ПК) в качестве Главного устройства используются устройства, позволяющие подключать измерительные системы к ПК по USB или Ethernet. Для работы по данным интерфейсам с устройствами системы используется специальное программное обеспечение, которое позволяет взаимодействовать с ними по виртуальным СОМ-портам. Данная технология позволяет органи-

зователь подключение устройств по последовательному интерфейсу при его физическом отсутствии.

Таблица 2  
Параметры интерфейсов передачи данных

Интерфейс	Тип передачи	Максимальная дистанция	Количество проводников	Топология
RS-232	Полный дуплекс	15 метров при 9600 бит/с	8 с GND	Точка-точка
RS-422	Полный дуплекс	1200 метров при 9600 бит/с	5 с GND	Точка-точка
RS-485	Полудуплекс или полный дуплекс	1200 метров при 9600 бит/с	3 или 5 с GND	Многоточечная
Ethernet	10BAS E-5	500 метров при 10 Мбит/с	Коаксиальный кабель	Шинная
	10BAS E-2			Шинная
	10BAS E-T		Витая пара	Звездообразная

Отдельно стоит отметить беспроводные способы передачи данных, в частности, технологии Bluetooth и Wi-Fi. В данный момент на рынке представлены различные внешние модули к микроконтроллерам, предназначенные для работы с данными технологиями. Также в разрабатываемых системах могут быть использованы микроконтроллеры с аппаратной поддержкой Bluetooth Low Energy и Wi-Fi. Применение беспроводных технологий освобождает от использования кабельных линий связи и расширяет список возможных реализаций сбора, обработки и хранения данных.

В настоящее время наблюдается разнообразие устройств, на которых строятся системы сбора данных. Выбор той или иной структуры системы передачи данных с акселерометров зависит от поставленных требований согласно техническому заданию, условий эксплуатации и сущности технологического процесса.

---

### Список литературы:

1. Современные МЭМС-гироскопы и акселерометры [Электронный ресурс]: ООО «Совтест АТЕ». – Режим доступа: <https://avi-solutions.com/library/statyi/osobennosti>.
2. MEMS-технологии. Простое и доступное решение сложных системных задач [Электронный ресурс]: ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – Электрон. журн. – 7/2009. – С. 80-89. – Режим доступа: [http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/0/article\\_288\\_258.pdf](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_288_258.pdf).
3. Документация на инерционный модуль LSM6DRSX [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm6dsrx.pdf>.
4. Специалисты компании Advantech. Промышленные шины и сетевые стандарты [Текст]: / Специалисты компании Advantech // Control Engineering Россия. – 2013. – № 1(43). – с. 48-52.