

А.А.Садыков, А.Д. Адамова

## Компонентные базы встроенных информационно-управляющих систем - контроллеры интерфейсов, ввод-вывод

(Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, г.Астана)

В статье описаны различные виды памяти, которые используются в микроконтроллерах. Основное внимание уделено энергонезависимым видам памяти: ROM, PROM, EPROM, EEPROM. Так же, рассмотрены проблемы использования памяти микроконтроллеров в гарвардской архитектуре и пристанской архитектуре.

Большинство микроконтрольных систем напрямую связываются с датчиками и выходными устройствами. Существуют множество стандартных интерфейсов, применяемых в различных устройствах. Блоки для обмена данными встраиваются в программируемый логический контроллер (Programmable Logic Controller, PLC). Данная статья является продолжением статьи "Обзор встроенных информационно-управляющих систем", где рассматривалась общая архитектура 8-, 16-, 32- разрядных микроконтроллеров и микропроцессоров.

С точки зрения технологии микроконтроллер i8051 это удачный набор периферийных устройств, возможность гибкого выбора внешней или внутренней программной памяти и приемлемая цена обеспечили этому микроконтроллеру успех на рынке. На сегодняшний день существует более 200 модификаций микроконтроллеров, совместимых с i8051, выпускаемых двумя десятками компаний, и большое количество микроконтроллеров других типов. Популярностью у разработчиков пользуются 8-битные микроконтроллеры PIC фирмы Microchip Technology и AVR фирмы Atmel, 16-битные MSP430 фирмы TI, а также ARM, архитектуру которых разрабатывает фирма ARM и продаёт лицензии другим фирмам для их производства.

При проектировании микроконтроллеров надо обратить внимание на размер и стоимость и вместе с этим на гибкость и производительность. Для разных приложений оптимальное соотношение этих и других параметров может различаться очень сильно. Поэтому существует огромное количество типов микроконтроллеров, отличающихся архитектурой процессорного модуля, размером и типом встроенной памяти, набором периферийных устройств, типом корпуса и т. д. Ограничения по цене и энергопотреблению сдерживают также рост тактовой частоты контроллеров. Во многих моделях микроконтроллеров используется статическая память для ОЗУ и внутренних регистров. Это даёт контроллеру возможность работать на меньших частотах и даже не терять данные при полной остановке тактового генератора. Часто предусмотрены различные режимы энергосбережения, в которых отключается часть периферийных устройств и вычислительный модуль. Большое распространение получили микроконтроллеры с RISC-архитектурой. Упрощённый набор команд позволяет выполнять большинство инструкций за один такт, что обеспечивает высокое быстродействие даже при относительно низкой тактовой частоте. Кроме ОЗУ, микроконтроллер может иметь встроенную энергонезависимую память для хранения программы и данных. Во многих контроллерах вообще нет шин для подключения внешней памяти. Наиболее дешёвые типы памяти допускают лишь однократную запись. Такие устройства подходят для массового производства в тех случаях, когда программа контроллера не будет обновляться. Другие модификации контроллеров обладают возможностью многократной перезаписи энергонезависимой памяти. В микроконтроллерах используется раздельное хранение данных и команд в ОЗУ и ПЗУ соответственно. Неполный список периферии, которая может присутствовать в микроконтроллерах, включает в себя: универсальные цифровые порты, которые можно настраивать как на ввод, так и на вывод; различные интерфейсы ввода-вывода, такие как UART, I<sup>2</sup>C, SPI, CAN, USB, IEEE 1394, Ethernet; аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи; компараторы; широтно-импульсные модуляторы; таймеры; контроллеры дисплеев и клавиатур; радиочастотные приемники и передатчики; массивы встроенной флэш-памяти; встроенный тактовый генератор и сторожевой таймер.

Рассмотрим приведенные выше интерфейсы ввода-вывода.

**Интерфейс RS-232** - для передачи информации между двумя устройствами на расстоянии до 15 метров. Информация передается по проводам с уровнями сигналов, отличающимися от стандартных 5 В, для обеспечения большей устойчивости к помехам. Асинхронная передача данных осуществляется с установленной скоростью при синхронизации уровнем сигнала стартового импульса. Наиболее часто для двунаправленной передачи используются трех- или четырехпроводная связь (Рисунок 1).

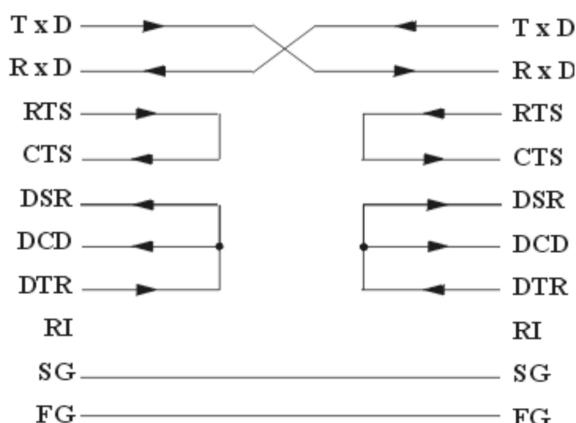


Рисунок 1

таблица1. Назначение сигналов следующее

Сигналы	Назначение
FG	защитное заземление (экран).
TxD	данные, передаваемые компьютером в последовательном коде (логика отрицательная).
RxD	данные, принимаемые компьютером в последовательном коде (логика отрицательная).
RTS	сигнал запроса передачи. Активен во все время передачи.
CTS	сигнал сброса (очистки) для передачи. Активен во все время передачи. Говорит о готовности приемника.
DSR	готовность данных. Используется для задания режима модема.
SG	сигнальное заземление, нулевой провод.
DCD	обнаружение несущей данных (детектирование принимаемого сигнала).
DTR	готовность выходных данных.
RI	индикатор вызова. Говорит о приеме модемом сигнала вызова по телефонной сети.

**Интерфейс UART** - универсальный, последовательный имеется почти в каждом микроконтроллере. По структуре это обычный асинхронный последовательный протокол, то есть передающая сторона по очереди выдает в линию 0 и 1, а принимающая отслеживает их и запоминает. Синхронизация идет по времени - приемник и передатчик заранее договариваются о том на какой частоте будет идти обмен. Если скорость передатчика и приемника не будут совпадать, то передача может не состояться.

**Интерфейс I<sup>2</sup>C.** I<sup>2</sup>C-совместимые микросхемы позволяют ускорить процесс разработки от функциональной схемы до прототипа. Более того, поскольку такие микросхемы подключаются непосредственно к шине без каких-либо дополнительных цепей, появляется возможность модификации и модернизации системы прототипа путем подключения и отключения устройств от шины.

Вот некоторые достоинства I<sup>2</sup>C-совместимых микросхем, которые касаются конструкторов:

- Блоки на функциональной схеме соответствуют микросхемам, переход от функциональной схемы к принципиальной происходит быстро.
- Нет нужды разрабатывать шинные интерфейсы, т.к. шина уже интегрирована в микросхемы.
- Интегрированные адресация устройств и протокол передачи данных позволяют системе быть полностью программно определяемой.
- Одни и те же типы микросхем могут быть часто использованы в разных приложениях.
- Время разработки снижается, так как конструкторы быстро знакомятся с часто используемыми функциональными блоками и соответствующими микросхемами.
- Микросхемы могут быть добавлены или убраны из системы без оказывания влияния на другие микросхемы, подключенные к шине.
- Простая диагностика сбоев и отладка; нарушения в работе могут быть немедленно отслежены.
- Время разработки программного обеспечения может быть снижено за счет использования библиотеки повторно используемых программных модулей.

Помимо этих преимуществ, КМОП I<sup>2</sup>C-совместимые микросхемы предоставляют для конструкторов специальные решения, которые в частности привлекательны для портативного оборудования и систем с батарейным питанием: - Крайне низкое потребление.

- Высокая стойкость к помехам.
- Широкий диапазон питающего напряжения.
- Широкий рабочий температурный диапазон.

**Интерфейс SPI.** SPI - популярный интерфейс для последовательного обмена данными между микросхемами. Интерфейс SPI, наряду с I<sup>2</sup>C, относится к самым широко используемым интерфейсам для соединения микросхем. Изначально он был придуман компанией Motorola, а в настоящее время используется в продукции многих производителей. Его наименование является аббревиатурой от 'Serial Peripheral Bus', что отражает его предназначение - шина для подключения внешних устройств. Шина SPI организована по принципу 'ведущий-подчиненный'. В качестве ведущего шины обычно выступает микроконтроллер, но им также может быть программируемая логика, DSP-контроллер или специализированная ИС. Подключенные к ведущему шины внешние устройства образуют подчиненных шины. В их роли выступают различного рода микросхемы, в т.ч. запоминающие устройства (EEPROM, Flash-память, SRAM), часы реального времени (RTC), АЦП/ЦАП, цифровые потенциометры, специализированные контроллеры и др. Главным составным блоком интерфейса SPI является обычный сдвиговый регистр, сигналы синхронизации и ввода/вывода битового потока которого и образуют интерфейсные сигналы. Таким образом, протокол SPI правильнее назвать не протоколом передачи данных, а протоколом обмена данными между двумя сдвиговыми регистрами, каждый из которых одновременно выполняет и функцию приемника, и функцию передатчика. Непременным условием передачи данных по шине SPI является генерация сигнала синхронизации шины. Этот сигнал имеет право генерировать только ведущий шины и от этого сигнала полностью зависит работа подчиненного

шины. Существует три типа подключения к шине SPI, в каждом из которых участвуют четыре сигнала. Самое простое подключение, в котором участвуют только две микросхемы, показано на рисунке 2. Здесь, ведущий шины передает данные по линии MOSI синхронно со сгенерированным им же сигналом SCLK, а подчиненный захватывает переданные биты данных по определенным фронтам принятого сигнала синхронизации. Одновременно с этим подчиненный отправляет свою посылку данных. Представленную схему можно упростить исключением линии MISO, если используемая подчиненная ИС не предусматривает ответную передачу данных или в ней нет потребности. Одностороннюю передачу данных можно встретить у таких микросхем как ЦАП, цифровые потенциометры, программируемые усилители и драйверы. Таким образом, рассматриваемый вариант подключения подчиненной ИС требует 3 или 4 линии связи. Чтобы подчиненная ИС принимала и передавала данные, помимо наличия сигнала синхронизации, необходимо также, чтобы линия SS была переведена в низкое состояние. В противном случае, подчиненная ИС будет неактивна. Когда используется только одна внешняя ИС, может возникнуть соблазн исключения и линии SS за счет жесткой установки низкого уровня на входе выбора подчиненной микросхемы. Такое решение крайне нежелательно и может привести к сбоям или вообще невозможности передачи данных, т.к. вход выбора микросхемы служит для перевода ИС в её исходное состояние и иногда инициирует вывод первого бита данных.

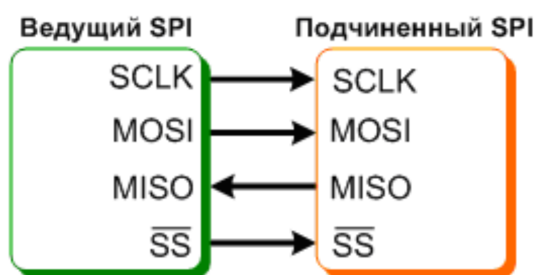


Рисунок 2

При необходимости подключения к шине SPI нескольких микросхем используется либо независимое (параллельное) подключение (рис. 3), либо каскадное (последовательное) (рис. 4). Независимое подключение более распространенное, т.к. достигается при использовании любых SPI-совместимых микросхем. Здесь, все сигналы, кроме выбора микросхем, соединены параллельно, а ведущий шины, переводом того или иного сигнала SS в низкое состояние, задает, с какой подчиненной ИС он будет обмениваться данными. Главным недостатком такого подключения является необходимость в дополнительных линиях для адресации подчиненных микросхем (общее число линий связи равно  $3+n$ , где  $n$ -количество подчиненных микросхем). Каскадное включение избавлено от этого недостатка, т.к. здесь из нескольких микросхем образуется один большой сдвиговый регистр. Для этого выход передачи данных одной ИС соединяется со входом приема данных другой, как показано на рисунке 3. Входы выбора микросхем здесь соединены параллельно и, таким образом, общее число линий связи сохранено равным 4. Однако использование каскадного подключения возможно только в том случае, если его поддержка указана в документации на используемые микросхемы. Чтобы выяснить это, важно знать, что такое подключение по-английски называется 'daisy-chaining'.

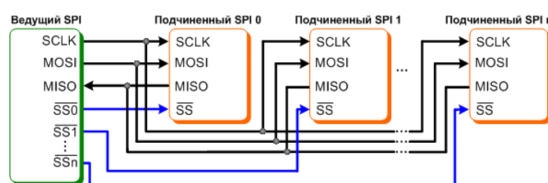


Рисунок 3

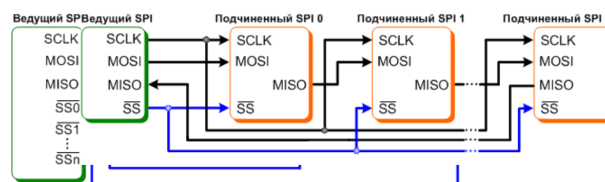


Рисунок 4

**Интерфейс CAN.** разработан международной организацией по стандартизации (ISO) как шаблон. CAN соответствует эталонной модели иерархического представления сети открытых систем (ISO).

CAN интерфейс поддерживает физический уровень эталонной модели, который дает возможность оптимизировать протокол связи для различных сред передачи данных (витая пара, однопроводная линия, оптический кабель, радиоканал, инфракрасное излучение). Протокол CAN оптимизирован для систем, в которых должны передаваться относительно небольшое количество информации к любому или всем узлам сети. Множественный доступ с опросом состояния шины позволяет каждому узлу получить доступ к шине с учетом приоритетов. Не адресатная структура сообщений позволяет организовать многоабонентскую доставку данных с сокращением трафика шины. Быстрая устойчивая передача информации с системой контроля ошибок позволяет отключать неисправные узлы от шины, что гарантирует доставку критических по времени сообщений. Преимущества CAN протокола позволили использовать его в автомобилестроении, автоматизации технологических процессов, медицине и других приложениях.

**Интерфейс USB** . предназначен в первую очередь для подключения периферийных устройств к персональному компьютеру. Разработка интерфейса USB велась такими фирмами как Intel, Compaq, Microsoft, Nec и др. перед разработчиками стояла задача разработать интерфейс с характеристиками пригодными для широкого применения: высокая скорость передачи данных, высокая помехозащищенность, подключение нескольких устройств на одну линию, автоматическое определение и настройка устройства, малое количество соединительных проводов, низкая стоимость. Сеть USB строится по топологии 6-ти уровневой древовидной структурой. В USB может быть только одно @ "Master" устройство (компьютер) и до 127 "Slave" периферийных устройств. Иницирует передачу только Master, Slave устройства не могут самостоятельно начать передачу в шину USB. Шины USB поддерживают высокоскоростной режим 12Мбит/с (для подключения аудио/видео устройств и др.) и низкоскоростной режим 1,5Мбит/с (для подключения модема, клавиатуры и т.д.).

При передачи данных по шине USB используется четыре вида протоколов, которые имеют соответствующие атрибуты. Только для высокоскоростного режима:

- Изохронный режим, используется когда получение сбойного пакета не катастрофично для системы в целом, гарантирует фиксированную скорость передачи данных (воспроизведение звука).

- Блочная передача. Гарантирует правильную доставку сообщения, но не гарантирует время передачи (работа принтера).

Для высокоскоростного и низкоскоростного режимов:

- прерывистая передача. Используется для связи с устройствами, требующими умеренную скорость передачи данных (клавиатура).
- команды управления. Они используются при настройки периферийных устройств.

В каждом периферийном устройстве есть одна или несколько Endpoint (конечная точка). Endpoint нужно понимать, как дополнительный виртуальный канал передачи данных в устройстве. Каждая Endpoint используется для получения доступа к определенным функциям устройства, и может быть настроена на прием или передачу данных. Каждое устройство должно поддерживать Endpoint0, для его настройки. Всего в устройстве может быть 15 Endpoint для высокоскоростного режима и 6 для низкоскоростного режима передачи данных. Для идентификации устройства на шине USB используются 5 типов параметров: устройство

(обеспечивает информацию о изготовителе и о изделии: номер, программа), конфигурация (потребляемая мощность, доступные интерфейсы), интерфейс (возможности устройства, класс драйвера), Endpoint (тип протокола передачи данных), примечания (необязательная текстовая информация о производителе устройства).

Топология шины USB подразумевает, что в системе возможен только одно Master устройство, которое периодически обращается к периферии чтобы принять или передать данные.

**Интерфейс IEEE 1394.** - чрезвычайно универсальный, удобный в реализации и использовании скоростной интерфейс, обеспечивающий подключение самых разнообразных устройств. К традиционным цифровым фото- и видеокамерам, магнитофонам, конверторам в последнее время добавились дисковые накопители (в том числе RAID-массивы), приводы со сменными носителями (CD-ROM, CD-RW, DVD-ROM, DVD-RAM, DAT, ZIP, Orb, магнитооптика), сканеры и принтеры. Не говоря уже о концентраторах, повторителях и кабелях.

Передача данных осуществляется по тонкому и гибкому кабелю (до 4,5 метров длиной) со скоростью до 400 Мбит/с (то есть 50 МБ/с). Важнейшей особенностью можно считать ее способность обеспечивать гарантированную полосу пропускания – определяющее качество при работе с аудио- и видеоприложениями. Это означает, что всегда можно зарезервировать "коридор например, между компьютером и видеокамерой - который останется в полном вашем распоряжении независимо от уровня нагрузки на шину со стороны остальных устройств.

Топология IEEE-1394 допускает как древовидную, так и цепочечную архитектуру, а также комбинацию из того и другого. Поэтому легко строить любые варианты подключения различных устройств к шине. Стандарт предусматривает архитектурное разделение шины на два основных блока - кабельная часть и контроллер (контроллеры). Так как контроллеров может быть несколько, эту часть также называют объединительной (backplane - дословно задний план, кросс-плата и т.п.). Стандартный кабель для IEEE-1394 состоит из 2 витых пар передачи сигналов шины, двух проводов питания и все это заключено в экранированную оболочку. Провода питания рассчитаны на ток до полутора ампер и напряжение от 8 до 40 вольт. На рисунке ниже показан один из вариантов кабеля IEEE-1394.

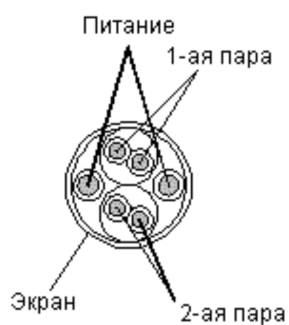


Рисунок 5

Провода питания рассчитаны на ток до 1,5 А при напряжении от 8 до 40 В, поддерживают работу всей шины, даже когда некоторые устройства выключены. Они также делают ненужными кабели питания во многих устройствах. Не так давно инженеры Sony разработали еще более тонкий четырехпроводный кабель, в котором отсутствуют провода питания. Этот так называемый AV-разъем будет связывать небольшие устройства, как "листья" с "ветками" 1394.

В отличие от USB, где применение различных типов разъемов регламентировано типом устройств, в FireWire все несколько по-другому. Здесь разъемы подразделяются по тому, нужно ли устройству питание от шины или нет. В том случае, когда нет необходимости в питании, используется 4-х контактный разъем (как правило, такой применяется в видеокамерах). Если же устройству может потребоваться питание от шины, то используется 6-и контактный разъем. Большинство компьютерных устройств рассчитано именно на него.

**Интерфейс Ethernet** - пакетная технология компьютерных сетей, преимущественно локальных. Сетевой интерфейс ethernet включает стандарты, определяющие проводные соединения и электрические сигналы на физическом уровне, формат кадров и протоколы управления доступом к среде. В качестве передающей среды используются витая пара и оптический кабель. Система Ethernet состоит из трех основных элементов:

1. физическая среда. Переносит сигналы Ethernet между компьютерами
2. набор общих правил управления доступом. Внедрялся в каждый интерфейс Ethernet, чтобы компьютеры могли получать доступ в сеть
3. фрейм Ethernet. Состоит из стандартизированного набора битов. Переносит данные по системе. Ethernet система, вместе с другими технологиями локальной сети, обеспечивает наилучший способ доставки данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы из Википедии: ru.wikipedia.org
2. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. - М.: Издательский дом "Додэка-XXI", 2007.- 360с.

**Садыков Ә.А., Адамова А.Д.**

**Кірістірілген информациялық-бақылаушы жүйелерінің компонентік базасы - контроллер интерфейстері, енгізу-шығару**

Қазіргі кездегі көпшілік микроконтроллердерде дамыған кірістірілген санды және аналогты перифериялары бар. Мақалада кірістірілген информациялық-бақылаушы жүйесінің компонентік базаларының енгізу-шығарудың түрлі интерфейстер талдауы келтірілген.

**Sadykov A.A., Adamova A.D.**

**The component database embedded information-management systems - interfaces of controllers, input/output**

Many modern microcontrollers have well-developed built-in digital and analog periphery. The article presents an analysis of the component databases embedded information-management systems, describes the various I / O interfaces.

*Поступила в редакцию 12.10.10*

*Рекомендована к печати 25.10.10*