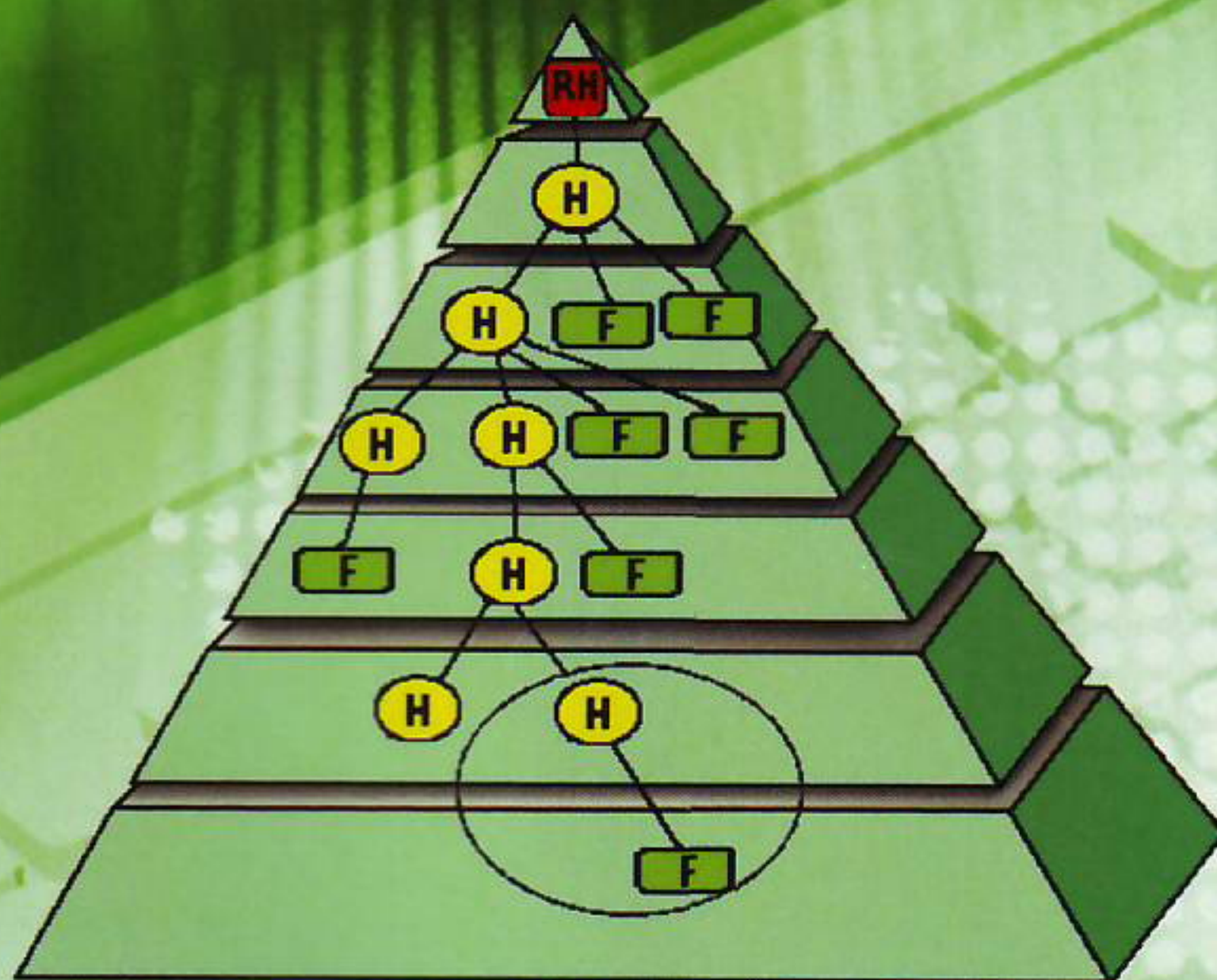


КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФИЗИКЕ

Часть 5, раздел 2

В. И. Красов, В. Л. Паперный

УПРАВЛЕНИЕ ВНЕШНИМИ УСТРОЙСТВАМИ
ЧЕРЕЗ USB-ИНТЕРФЕЙС



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Иркутский государственный университет»

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ФИЗИКЕ**

Часть 5, раздел 2

В. И. Красов, В. Л. Паперный

**Управление внешними устройствами
через USB-интерфейс**

Учебное пособие



УДК 53.072
ББК 32.97:53
К78

Печатается по решению учебно-методической комиссии
физического факультета Иркутского государственного университета

Рецензенты:

проф. кафедры радиофизики ИГУ,
д-р физ.-мат. наук *В. Б. Иванов*;
зав. кафедрой радиоэлектроники и телекоммуникационных систем
НИ ИргТУ, канд. физ.-мат. наук *А. Г. Ченский*

*Издание подготовлено при частичной поддержке
Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала
высшей школы (2009–2010 гг.)» (проект РНП.2.1.1./5955), а также Федеральной
целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной
России» на 2009–2013 гг. (Государственный контракт № 02.740.11.0576)*

Красов В. И.

К78 Управление внешними устройствами через USB-интерфейс : учеб. пособие / В. И. Красов, В. Л. Паперный. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2011. – 199 с. – (Компьютерные технологии в физике. Ч. 5, разд. 2).

В компактной форме изложены принципы функционирования USB-устройств на основе микроконтроллера. Рассмотрен микроконтроллер одного из наиболее популярных семейств PIC. Пособие снабжено разработанными заданиями по созданию приложений для программирования внешнего устройства и управления внешним устройством через USB-порт компьютера. Предназначено для поддержки курса «Управление внешними устройствами на основе микроконтроллеров», изучаемого на физическом факультете университета студентами направления 011200 62 «Физика». Целью курса является знакомство с технологией создания систем управления современными экспериментальными комплексами, составной частью которых являются различные устройства, выполненные на основе микроконтроллеров. Полезно также для студентов, специализирующихся в области автоматизации технологических процессов, управления средствами коммуникации, устройствами бытовой техники и т. п.

Библиогр. 8 назв. Табл. 29. Ил. 30. Прил. 7.

УДК 53.072
ББК 32.97:53

© Красов В. И., Паперный В. Л., 2011
© ФГБОУ ВПО «ИГУ», 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
Глава 1. Принципы передачи данных по шине USB (спецификация USB)	9
1.1. Общие положения.....	9
Архитектура USB.....	9
Схема передачи данных.....	13
Пакеты.....	17
Транзакции.....	20
Посылки	22
1.2. Стандартные запросы к USB-устройствам.....	25
1.3. Дескрипторы USB-устройства.....	32
Глава 2. Классы USB-устройств	40
2.1. Класс CDC (спецификация CDC).....	40
Функциональные дескрипторы	43
Специфические запросы к CDC-устройству	45
2.2. Класс HID (спецификация HID)	46
HID-дескриптор.....	51
Дескриптор репорта.....	51
Специфические запросы к HID-устройству	54
2.3. Подключение устройства.....	57
Нумерация и конфигурирование USB-устройств	58
Драйверы USB-устройств. Модель WDM	61
Глава 3. Микроконтроллеры семейства PIC18F	63
3.1. Архитектура микроконтроллера	64
Структура памяти	64
Прерывания	67
Порты ввода-вывода	69
Регистры конфигурации микроконтроллера	70
Тактирование микроконтроллера	72
3.2. USB-модуль микроконтроллера	74
Логическая структура и свойства USB-устройства	74
Настройка и управление USB-модулем.....	77
Регистры состояния и управления конечными точками	82
Буфер ОЗУ USB	84
Буферизация передач типа Ping-Pong	90
Прерывания USB.....	91

Глава 4. Создание USB-устройства	94
4.1. Модель простого устройства для обмена данными с компьютером.....	94
4.2. Программирование на языке Си для микроконтроллера.....	96
4.3. Стандартное USB-устройство	99
Обработка прерываний	101
Схемы обработки управляющих посылок.....	107
Анализ и обработка конфигурационного пакета.....	110
4.4. CDC-устройство	117
Обработка специфических запросов для класса CDC	118
Программирование работы с дополнительными конечными точками.....	119
Задания	123
4.5. HID-устройство	123
Обработка специфических запросов для класса HID.....	123
Программирование работы с первой конечной точкой	126
Задания	128
Глава 5. Управление USB-устройством в Windows	129
5.1. Перечисление USB-устройств.....	129
Задания	133
5.2. Программирование работы с CDC-устройством.....	133
Терминальная программа	134
Задания	136
5.3. Программирование работы с HID-устройством.....	136
Задания	143
Заключение	144
Библиографический список	144
Приложение 1. Элементы дескриптора репорта HID-устройства ...	145
Поля данных для элементов Input, Output и Feature.....	145
Глобальные элементы	147
Приложение 2. Примеры описания дескрипторов	149
Дескрипторы для CDC-класса.....	149
Дескрипторы для HID-класса	152
Дескрипторы строк.....	156
Приложение 3. Регистры PIC18F2550, управляющие работой USB-модуля	157
Регистр глобальных прерываний INTCON	157
Регистр контроля состояний сброса RCON	157
Регистр флагов периферийных прерываний PIR2.....	158
Регистр разрешения периферийных прерываний PIE2.....	159
Управляющий регистр UCON	160

Регистр конфигурации UCFG	160
Регистр состояния USTAT	161
Регистр управления конечными точками UEPn.....	162
Регистр флагов прерываний USB UIR	162
Регистр разрешения прерываний USB UIE	163
Регистр флагов прерываний по ошибке USB UEIR.....	163
Регистр разрешения прерываний по ошибке USB UEIE...	164

Приложение 4. Типы данных и константы для программирования USB-модуля	165
Определение статуса и состояния устройства	165
Настройка и конфигурирование USB-модуля.....	165
Параметры регистра USTAT.....	166
Идентификаторы маркер-пакетов (PID)	167
Объявления типов для дескриптора буфера конечной точки.....	167
Анализ конфигурационного пакета.....	168
Параметры конечных точек	171
Константы для описания классов	172

Приложение 5. Текст программы	174
Текст файла «main.c» для CDC-устройства.....	174
Текст файла «main.c» для HID-устройства.....	185

Приложение 6. Структуры и функции Windows Setup API	189
Функция SetupDiGetClassDevs: перечисление устройств .	189
Функция SetupDiDestroyDeviceInfoList: освобождение блока описания устройства	190
Функция SetupDiEnumDeviceInterfaces: информация об устройстве.....	190
Функция SetupDiGetDeviceInterfaceDetail: детальная ин- формация об устройстве.....	191
Функция SetupDiEnumDeviceInfo: информация об уст- ройстве	192
Функция SetupDiGetDeviceRegistryProperty: получение Plug- and Play-свойств устройства.....	192

Приложение 7. Структуры и функции Windows HID API	193
Процедура HidD_GetHidGuid: получение GUID	193
Функция HidD_GetPreparsedData: создание описателя устройства.....	193
Функция HidD_FreePreparsedData: освобождение описателя устройства.....	194
Функция HidD_GetFeature: получение Feature-репорта....	194
Функция HidD_SetFeature: передача Feature-репорта	195

Функция HidD_GetNumInputBuffers: получение числа буферов.....	195
Функция HidD_GetAttributes: получение атрибутов устройства	196
Функция HidD_GetManufacturerString: получение строки производителя	196
Функция HidD_GetProductString: получение строки продукта	197
Функция HidD_GetSerialNumberString: получение строки серийного номера.....	197
Функция HidD_GetIndexedString: получение строки по индексу	197
Функция HidD_GetInputReport: получение Input-репорта	198
Функция HidD_SetOutputReport: передача Output-репорта	198
Функция HidP_GetCaps: получение свойств устройства	199

Введение

Данное издание является продолжением пособия «Управление внешними устройствами на основе микроконтроллеров», издаваемого в серии «Компьютерные технологии в физике» (ч. 5, разд. 1). В нем описывается работа и управление микропроцессорными устройствами через USB-интерфейс. Целью является знакомство читателя с основами разработки и программирования USB-устройств.

Шина USB (Universal Serial Bus, универсальная последовательная шина) появилась в начале 1996 г. как попытка решения проблемы множественности интерфейсов. К тому времени персональные компьютеры (ПК) были оснащены большим количеством разнообразных внешних интерфейсов, полезных и необходимых, но обладающих одним недостатком: все они требовали своего специального разъема и, чаще всего, выделенного аппаратного прерывания (**IRQ**, Interrupt ReQuest).

В настоящее время наблюдается повсеместное внедрение USB как универсального интерфейса для управления внешними устройствами. Это связано с удобством использования (все USB-устройства подключаются по технологии «Plug and Play» – включи и работай), практически неограниченным количеством подключаемых устройств (127 на одну шину), возможностью работать без дополнительного источника питания (использовать для питания устройств кабель USB). Кроме того, высокая скорость передачи данных (в версии USB 2.0 – 480 Мбит/с, в версии USB 3.0 до 4,8 Гбит/с) обеспечивает надежную передачу потокового аудио- и видеосигнала и любых других видов информации.

Но универсальность USB достигнута путем усложнения протокола передачи данных. Таким образом, разработка и программирование USB-устройств требует серьезной дополнительной подготовки. Отсутствие достаточного количества специальной литературы на русском языке, посвященной этой теме, приводит к тому, что отечественных разработок USB-устройств практически нет. Фирмы предпочитают покупать готовые устройства у зарубежных производителей.

В отличие от немногочисленных изданий, приведенных ниже в списке литературы, в данном пособии в *компактном* виде изложен материал, изучение которого позволит разрабатывать программное обеспечение для *полного* комплекса «компьютер – USB-устройство», причем последнее предполагается выполненным на основе микроконтроллеров популярного семейства PIC.

Основные принципы создания и управления USB-устройствами продемонстрированы на примере двух простейших типов, однако, освоив изложенный материал, читатель сможет без больших усилий разрабатывать и другие типы устройств.

Настоящее пособие рассчитано в первую очередь на читателя, владеющего основами программирования на языках Паскаль и Си. Подчеркнем, что читателю не требуется специальных знаний в области цифровой техники. Можно ограничиться минимумом сведений, приведенных в предыдущем пособии авторов «Управление внешними устройствами на основе микроконтроллеров».

Пособие написано для поддержки лекционного курса «Управление внешними устройствами на основе микроконтроллеров», читаемого для студентов 4-го курса направления 011200 62 «Физика», но может быть полезно и для студентов других направлений, специализирующихся в области цифровой техники.

Важной особенностью данного пособия является наличие заданий, выполнение которых обеспечивает получение практических навыков разработки USB-устройств разных типов. Задания разработаны для лабораторного практикума по данной теме.

Первые две главы пособия посвящены описанию технологии USB и принципов работы некоторых классов устройств.

Третья глава описывает устройства микроконтроллера. Особое внимание обращено на функционирование встроенного USB-модуля, принципам управления потоком данных.

Четвертая глава посвящена программированию микроконтроллера. В качестве устройства описывается простой прибор, который реагирует на команды компьютера, выполняет требуемые действия и посылает ответ. Начинать знакомство с принципами создания USB-устройств неподготовленному читателю можно непосредственно с гл. 4. При необходимости более подробно познакомиться с материалом можно по ссылкам в этой главе.

В пятой главе описаны методы управления USB-устройством с помощью компьютера, создание Windows-приложения для этих целей.

Обширный справочный материал собран в Приложениях. Это фактически справочник по программированию микроконтроллеров и по специальным функциям Windows, предназначенным для работы с USB-устройствами.

В результате изучения данного курса студент получает представление о функционировании микроконтроллерных систем, подключенным к USB-интерфейсу и приобретает навыки и умения по созданию программного обеспечения для управления такими системами. Кроме того, данное пособие содержит большой объем справочного материала по технологии USB и программированию микроконтроллеров и может быть полезным для проектировщиков внешних устройств.

Глава 1. Принципы передачи данных по шине USB (спецификация USB)

Рассмотрены принципы передачи данных по шине USB. Представлены структура пакетов данных, протоколы транзакций. Разобраны управляющие передачи, структура конфигурационного пакета и форматы стандартных запросов к устройству.

Первая спецификация (версия 1.0) USB была опубликована в начале 1996 г., а осенью 1998 г. появилась спецификация 1.1, исправляющая проблемы, обнаруженные в первой редакции. Весной 2000 г. была опубликована версия 2.0, в которой предусматривалось 40-кратное повышение пропускной способности шины. Так, спецификация 1.0 и 1.1 обеспечивает работу на скоростях 12 Мбит/с (Full speed) и 1,5 Мбит/с (Low speed), а спецификация 2.0 вдобавок к этому и на скорости 480 Мбит/с (High speed). При этом предусматривается обратная совместимость USB 2.0 с USB 1.x, т. е. «старые» USB 1.x-устройства будут работать с USB 2.0-контроллерами, правда, на скорости 12 Мбит/с.

Финальная спецификация USB 3.0 появилась в 2008 г. В спецификации USB 3.0 разъемы и кабели обновленного стандарта физически и функционально совместимы с USB 2.0. Кабель USB 2.0 содержит в себе четыре линии – пару для приема/передачи данных, одну – для питания и еще одну – для заземления. В дополнение к ним USB 3.0 добавляет пять новых линий (в результате чего кабель стал гораздо толще), однако новые контакты расположены параллельно по отношению к старым на другом контактом ряду. Спецификация USB 3.0 повышает максимальную скорость передачи информации до 4,8 Гбит/с – что на порядок больше 480 Мбит/с, которые может обеспечить USB 2.0. USB 3.0 может похвастаться не только более высокой скоростью передачи информации, но и увеличенной силой тока с 500 мА до 900 мА.

Мы ограничимся рассмотрением версии 2.0.

1.1. Общие положения

Архитектура USB

Архитектура USB подразумевает подключение одного или нескольких USB-устройств к компьютеру (рис. 1.1), который в такой конфигурации является главным управляющим устройством. Фактически управляет шиной хост-контроллер (хост), встроенный в материнскую плату компьютера. На шине USB допускается наличие только одного хоста.