# 第 1 部分 USB 概述

## 第 1 章 USB 技术的出现和发展

1 .1 身边的 USB 2

1 .2 计算机总线概述 3 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

1 .3 USB 的出现和发展 5 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

1 .3 .1 传统的计算机接口的局限性 5 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

1 .3 .2 新型总线标准 USB 诞生 5 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

复 习 题 6 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 2 章 USB 的特点及优点

2 .1 即插即用 7 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

2 .2 广泛的软硬件支持 7 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

2 .3 低功耗 7 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

2 .4 可选择的多种速度模式 7 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

2 .5 完备的总线拓扑结构 8 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

2 .6 多种设备类 8 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

2 .7 硬件结构标准化 8 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

2 .8 低廉的价格 8 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 8 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 3 章 USB 关键字

1. 握手应答包( Acknowledge Packet,简写为 ACK)。用于 USB 主机与设备之间数据传 输时,指示应答的握手信号
2. (11) 人机交互设备( Human Interface Device, 简写为 HID)。USB 协议规定的设备类之 一。常见的 USB 鼠标、键盘等设备均属于 HID。Windows 等操作系统对于 HID 有很好的支 持,提供了完整的驱动程序。 HID 的 PC 级开发因此仅需针对应用级用户程序。
3. (16) 微控制器(Micro Controller Unit, 简写为 MCU)。国内俗称单片机。 (17) 最高有效位(Most Significant Bit, 简写为 MSB)。
4. (22) 即插即用( Play and Plug, 简写为 PnP)。基于 PC 的一项技术, 用于管理 I / O 地址、 内存地址和 IRQ 等在内的主机资源,使得外部设备能够使用的 PC 中没有冲突的某项资源

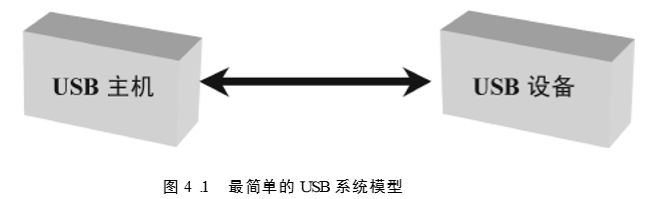
# 第 2 部分 USB 协议基础

整个 USB 协议规范是十分庞大和复杂的。从信号的编码、数据流的定义 到机械层、物理层都有十分详尽的定义。因此, USB 协议 1 .1(USB Specification Version 1 .1)和 USB 协议 2 .0(USB Specification Version 2 .0)都是开发 USB 的最为权威的资料。从 USB 芯片的设计人员、USB 设备系统级开发人 员到 PC 上软件级开发人员都可以从中找到自己应该遵循的设计原则和方 法。但是 ,不同级别的开发人员所需要的 USB 的背景知识是不同的 ,应该各 有侧重。本书主要以嵌入式系统为主要背景,那么就有必要对 USB 协议进行 一些整理 ,提炼出相应的 USB 的基础知识。比如,有关 USB 协议中机械层和 电气层的描述,对于大部分系统工程师来说并不是必需的(但也不能没有) ,他 们可能更为关心如何更快地按照 USB 的规范来设计硬件系统及编制 USB 协 议栈,因此,作者就对类似这种内容做了精简

## 第 4 章 USB 系统资源 12

### 4 .1 USB 系统模型 12

USB 以 USB 主机为核心, 以外围的 USB 设备为功能, 组成了系统模型。也就是说, USB 提供的是主机和设备中间的一种数据通信服务。这里, 主机一般就是常用的 PC, 而设备就可 以是各种嵌入式系统的设备或是各种计算机外设产品。当然,随着计算机工业的飞速发展, 将 主机嵌入式化是大势所趋。主机是 USB 的核心,每一次 USB 数据通信都必须是由 USB 主机 来发起的(远程唤醒模式除外) , 主机管理着每个 USB 设备。即便是新兴的 USB On The Go 设备,其核心部分仍然是嵌入了 USB 主机的功能。USB 系统的模型就是主机与设备的数 据通信。图 4 .1 表示了一个最简单的 USB 系统的模型结构。



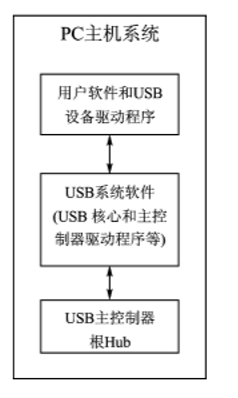
### 4 .2 计算机平台上的 USB 系统

下面以 PC 平台上的 USB 系统为例介绍组成部分及功能, 然后介绍 USB 在 PCI 总线上 的位置

#### 4 .2 .1 PC 上的 USB 系统组成部分 12

总的来说, PC 上的 USB 同其他 PC 组件一样, 应该包括 2 大部分: 硬件和软件。硬件主 要完成物理上的接口和实体功能,软件则和操作系统配合管理硬件, 完成数据流传输。从整个USB 系统的角度上来讲, 就有必要将这些组成部分细化, 按照各自的功能和性质来分类。图 4 .2 表示了一个比较完整的 PC 体系上的 USB 组成部分,或者更直接地说, 就是 PC 级的 USB 主机

由图 4 .2 可知, PC 上的 USB 主机包含 3 个部分: USB 主控制器/ 根 Hub; USB 系统软件; 用户软件。 下面详细分析每一部分的特点和功能



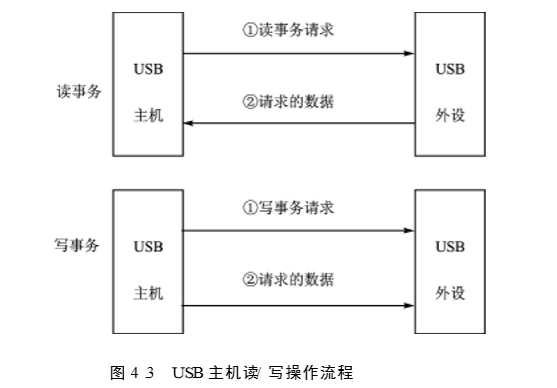
##### 1 . USB 主控制器/ 根 Hub

USB 主控制器和根 Hub 是 PC 上的硬件, 一般由 USB 主控制器芯片、USB Hub 控制器芯片、 USB 端口连 接件及控制器外围电路等组成。USB 主控制器芯片提供 USB 的收发物理层, 实现 USB 电缆上差模信号与数字信 号的转换并提供端点的物理存储机制, 还能根据 USB 的 传输机制自动管理各个端点的存储与数据交换。此外, USB 主控制器还需提供与外围控制 CPU 的接口电路,通 过以并行或串行的方式连接到 CPU 的总线上, 从而建立 与 CPU 的通信。

##### USB 系统软件

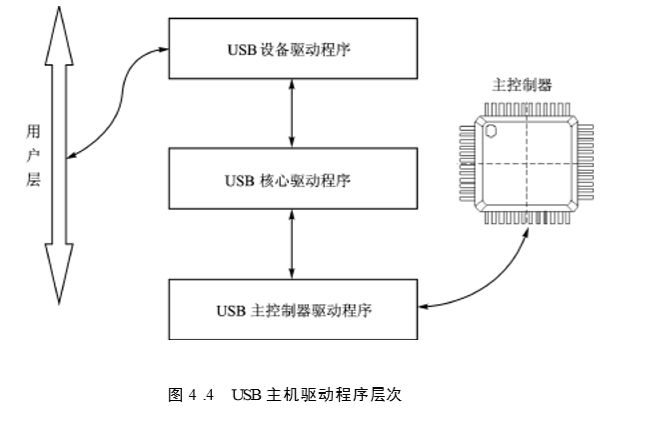
在基于 PC 的系统中, USB 主控制器是 通过 PCI 总线和 CPU 进行通信的。也就是说, 整个 PC 上的 USB 是建立在 PCI 总线上的, PC 与 USB 的物理连接是通过 PCI 总线来实现的。 根 Hub 是 USB 的第一级 Hub, 提供 USB 的物理接口。可以说,根 Hub 是 USB 主机上 的第一道门户, 它直接提供下行端口, 供外围设备连接使用。

此外, 根 Hub 具有 Hub 的其他 特性,这一点, 将在 Hub 专题中详细介绍。一般的 USB 主控制器芯片本身就集成了根 Hub, 并直接以 D + 和 D - 两根引脚的方式提供端口连接点。 PC 上 USB 主机与外围的 USB 设备之间不断地进行着数据的交换, 即读和写(以 PC 为 参照)。这种读操作的具体过程是这样的: USB 主控制器接收到 PC 软件和驱动程序发来了 读事务请求,并将此请求发送到根 Hub, 然后根 Hub 在确定了目标设备存在并连接正常的情 况下,通过 USB 的数据管道发送读事务请求给目标 USB 设备。目标设备在准确接收到请求 命令后,准备好主机要求的数据, 并发送给根 Hub。最终, USB 主控制器将来自设备的串行数 据转换成并行数据,通过 PCI 总线发送到 PC 系统内存缓冲区中, 供驱动程序和软件使用。写 操作的过程与读操作类似,虽然数据的流向与读操作刚好相反, 即由主机发送给设备, 但是读 操作和写操作有一点是共同的,即整个操作都是由主机来发起的。读操作中, 主机首先发送读 取命令,然后设备回馈数据; 而写操作中,主机直接发送写数据命令和数据内容。这一点, 请读 者格外注意并理解。图 4 .3 演示了读操作和写操作的流程



核心部分,也起到了一个中间桥梁的作用, 它被捆绑在 PC 的操作系统中, 解释 USB 设备类驱 动程序发来的命令并将其划分为一系列的 USB 事务, 然后发送给 USB 主控制器驱动程序。 这里, USB 核心驱动程序不与 USB 主控制器硬件直接打交道, 而是通过 USB 主控制器驱动 程序这个媒介来与 USB 主控制器硬件进行通信。USB 主控制器驱动程序就负责最底层的驱 动任务,控制和管理硬件底层, 负责将 USB 事务发送给 USB 主控制器芯片, 并最终将串行数 据发送到电缆上。图 4 .4 演示了这 3 个层次驱动程序之间的关系。

最后强调一点,一般来说, USB 核心驱动程序和 USB 主控制器驱动程序由支持 USB 的 操作系统来提供。而 USB 设备类驱动程序则是由该特定 USB 设备用户自己开发, 以此来实 现特定的 USB 传输特点



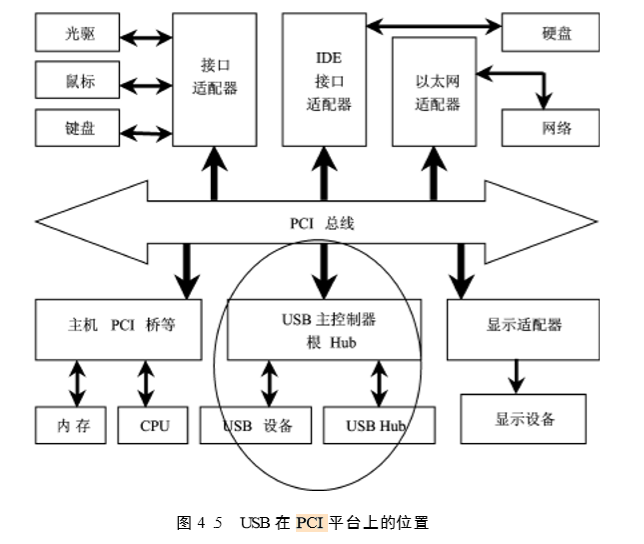
##### . 用户软件和 USB 设备类驱动程序

USB 设备类驱动程序, 也叫做 USB 用户驱动程序, 它把用户要求的 USB 命令发送给 USB 的主控制器硬件, 同时初始化内存缓冲区, 用于存储所有 USB 通信中的数据。每一种 USB 类设备都需要设计相应的设备类驱动程序。目前, Windows 操作系统对于 HID 类和 Mass Storage 类设备的支持比较完备, 直接提供了设备类驱动程序。而对于大部分的 USB 设 备类,用户和厂商还需自己开发类驱动程序。

这里的用户软件,主要是指用户与 USB 系统之间的一种界面, 它主要完成用户对于 USB 的控制,以及实时地进行一些数据的交互。当用户需要通过 USB 来实现数据传输, 并且需要 对传输的数据做一些特殊处理而操作系统却无法完全支持的情况下, 就需要开发用户软件。 比如对于一个数据采集系统,如果要采用 USB 接口, 那么就需要开发一个用户软件,来从驱动 程序中得到数据并进行处理。所以可以说, 对于 USB 系统, 用户软件并不是必需的。比如对 于像鼠标、键盘等 HID 设备, 仅仅是由操作系统来调用 HID 的设备驱动程序来实现自身的功 能。再比如,移动硬盘、优盘等移动 USB 存储设备属于 Mass Storage 类, Windows 2000 操作 系统对于这类设备有着很好的支持, 提供了完整的驱动程序。因此, 也无需开发特定的用户 程序

#### 4 .2 .2 USB 在 PCI 总线上的位置 15

图 4 .5 给出了一个比较完整的 PCI 总线的拓扑结构。可以看到, USB 与其他的总线接口 之间的联系和区别,从而能够从整体上把握 USB 系统在 PC 上的位置



如图 4 .5 所示,主机 PCI 桥、 USB 主控制器与根 Hub、显示适配器、 IDE 接口适配器和以 太网适配器等组成了 PC 的主要部分, 再加上其他一些接口扩展插件等, 就构成了一个完整的 PC。以上这些组件都是以 PCI 总线作为平台来相互进行通信的。

### 4 .3 设备级的 USB 系统 16

4 .3 .1 USB Hub 16 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

⋯⋯⋯⋯ 4 .3 .2 USB 设备 17 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 4 .4 USB 的拓扑体系 18 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

4 .4 .1 USB 的拓扑结构图 18 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 4 .4 .2 完整的 USB 系统软硬件组成 19 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 20 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 5 章 USB 的机械和电气特性 21

⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

5 .1 USB 的机械特性 21 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 5 .1 .1 USB 图标 21 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 5 .1 .2 USB 接插件 21 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 5 .1 .3 USB 插座的 PCB 设计 23 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 5 .1 .4 USB 电缆 23 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 5 .1 .5 USB 电缆线编号与颜色 25 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 5 .2 USB 的电气特性 25 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 5 .2 .1 USB 的供电模式 26 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 5 .2 .2 低功耗的实现 27 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 5 .2 .3 即插即用技术 27 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 29 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 6 章 USB 数据通信结构

6 .1 数据通信协议简介 30 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .1 .1 通信协议的主要内容 30 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .1 .2 USB 数据通信结构概况 31 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .1 .3 二进制数的位发送顺序 31 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .2 二进制数的序列———域 32 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .2 .1 同步域 32 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .2 .2 标识域 33 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .2 .3 地址域 34 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .2 .4 端点域 35 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .2 .5 帧号域 35 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .2 .6 数据域 36 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .2 .7 校验域 36 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .3 最基本数据单元———包 37 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .3 .1 令牌包 37 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .3 .2 数据包 38 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .3 .3 握手包 38 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .4 数据传输类型 39 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .4 .1 数据传输概论 39 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .4 .2 中断传输 40 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .4 .3 批量传输 42 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .4 .4 同步传输 44 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .4 .5 控制传输 46 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

6 .5 数据流模型 51 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .5 .1 端 点 51 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .5 .2 管 道 51 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 6 .5 .3 USB 数据传输过程 51 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 53 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

# 第 3 部分 USB 系统软硬件

## 第 7 章 USB 协议栈设备框架及固件软件编程基础 5

5 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

7 .1 标准的 USB 描述符 55 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .1 .1 设备描述符 56 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .1 .2 配置描述符 59 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .1 .3 接口描述符 60 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .1 .4 端点描述符 62 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .1 .5 字符串描述符 63 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 标准的 USB 设备请求命令 64 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .1 设备请求命令的格式 64 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .2 获取状态请求 GET\_STA TUS 66 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .3 清除特性请求 CLEAR\_FEAT URE 68 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .4 设置特性请求 SET\_FEATURE 69 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .5 设置地址请求 SET\_ADDRESS 70 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .6 获取描述符请求 GET\_DESCRIPTOR 70 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .7 设置描述符请求 SET\_DESCRIPTOR 71 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .8 获取配置请求 GET\_CONFIGURATION 72 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .9 设置配置请求 SET\_CONFIGURA TION 73 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .10 获取接口请求 GET\_INTERFACE 74 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .11 设置接口请求 SET\_INTERFACE 75 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .2 .12 同步帧请求 SYNCH\_FRAME 75 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .3 USB 协议栈设备框架的软件实现 76 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .3 .1 必需的一些常量 76 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .3 .2 设备描述符的程序实现 77 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .3 .3 配置描述符的程序实现 79 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .3 .4 接口描述符的程序实现 80 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .3 .5 端点描述符的程序实现 80 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .3 .6 字符串描述符的程序实现 82 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .4 通用 USB 固件程序流程 84 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .4 .1 USB 设备的暂态 84 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .4 .2 USB 的枚举过程 86 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 7 .4 .3 USB 固件协议栈的整体描述 86 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 88 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

3目 录

## 第 8 章 USB 设备类

8 .1 USB 设备类简介 90 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 8 .1 .1 类的定义 90 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 8 .1 .2 类协议在整个 USB 协议体系中的位置 90 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 8 .2 标准的 USB 设备类 92 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 93 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 9 章 USB 硬件设计基础

9 .1 基本的 USB 硬件电路分析 94 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 9 .1 .1 USB 连接点电路 95 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 9 .1 .2 信号线配置电路 95 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 9 .1 .3 时钟电路 95 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 9 .1 .4 信号线上拉电路 95 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 9 .1 .5 USB 芯片及其外围电路 95 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 9 .1 .6 USB 中断信号电路 96 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 9 .1 .7 CPU 接口电路 96 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 9 .2 USB 硬件系统的 PCB 设计基础 96 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 9 .2 .1 电磁兼容性简介 97 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 9 .2 .2 USB 系统中控制噪声的措施 97 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 98 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

# 第 4 部分 嵌入式 USB 主机开发技术

## 第 10 章 嵌入式 USB 主机系统规划

10 .1 USB 主机嵌入式化的必要性和迫切性 100 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .1 .1 为什么要开发嵌入式 USB 主机 100 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .1 .2 嵌入式 USB 主机在数据存储和交换中的应用 101 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .1 .3 嵌入式 USB 主机的应用前景分析 101 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .2 USB 主机协议简介 102 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .2 .1 USB 主机接口的工业标准 102 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .2 .2 USB 主机系统的功能 103 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .2 .3 USB 主机系统的结构 103 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .2 .4 USB 主机控制器 104 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .2 .5 主控制器驱动程序 105 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .2 .6 USB 核心驱动程序 106 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .3 USB Mass Storage 类协议 108 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .3 .1 Mass Storage 类概述 108 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .3 .2 单批量 Bulk Only 传输协议 109 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .3 .3 Mass Storage 的子类命令简介 112 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

10 .4 USB 主机嵌入式化的主要思路 116 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .4 .1 PC 上 USB 主机的工作原理总结 116 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .4 .2 嵌入式 USB 主机的硬件设计思路 117 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .4 .3 嵌入式 USB 主机的软件设计思路 117 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .5 嵌入式 USB 主机系统的软硬件规划 118 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .5 .1 系统结构及其硬件设计 118 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 10 .5 .2 软件设计 120 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 122 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 11 章 嵌入式 USB 主机系统的硬件设计

11 .1 嵌入式 USB 主机接口芯片 SL811HS 介绍 123 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .1 .1 SL811HS 的功能模块及特点 123 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .1 .2 SL811HS 芯片引脚分布 124 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .1 .3 SL811HS 的相关寄存器介绍 125 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .2 嵌入式 USB 主机核心 CPU 芯片 MC68HC912D60A 的介绍 130 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .2 .1 MC68HC912D60A 的特性 130 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .2 .2 MC68HC912D60A 的引脚介绍 132 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .2 .3 MC68HC912D60A 相关寄存器简介 134 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .3 嵌入式 USB 主机系统的供电系统设计 139 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .3 .1 供电系统电路 139 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .3 .2 电压转换电路 139 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .3 .3 电源指示电路 140 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .4 C68HC912D60A 单片机最小系统电路设计 140 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .4 .1 供电系统及引脚信号定义 140 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .4 .2 时钟电路 141 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .4 .3 BDM 背景调试模式接口电路 142 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .4 .4 MC68HC912D60A 工作模式选择电路 143 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .4 .5 单片机复位电路 143 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .5 SL811HS 外围电路设计 144 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .5 .1 系统供电及引脚信号定义 144 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .5 .2 时钟电路 144 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .5 .3 USB 下行端口设计 145 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .5 .4 复位电路 145 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .6 L811HS 与 MC68HC912D60A 通信接口设计 146 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .6 .1 MC68HC912D60A 通信引脚分配 146 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .6 .2 SL811HS 与 MC68HC912D60A 的端口 I / O 电平比较 146 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .6 .3 电平转换电路设计 148 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .7 系统其他模块的电路设计与实现 148 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .7 .1 LCD 显示电路设计 149 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .7 .2 键盘中断电路 149 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

5目 录

11 .7 .3 串口通信电路 151 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .7 .4 CAN 模块电路 151 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .7 .5 系统运行状态的 LED 显示电路 152 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .8 嵌入式 USB 主机系统的 PCB 设计 153 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .8 .1 元器件的布置 153 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .8 .2 系统 PCB 布线 154 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 11 .8 .3 PCB 覆铜 155 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 155 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 12 章 嵌入式 USB 主机系统的软件设计

12 .1 开发工具及软件结构简介 157 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .1 .1 MC68HC912D60A 单片机的开发工具 157 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .1 .2 CodeWarrio 集成开发环境简介 158 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .1 .3 嵌入式 USB 主机系统源文件清单 160 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .2 C68HC912D60A 初始化及用户交互界面设计 160 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .2 .1 MC68HC912D60A 的初始化程序设计 161 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .2 .2 LCD 液晶驱动程序设计 162 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .2 .3 键盘中断模块程序设计 170 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .2 .4 LED 显示模块程序设计 174 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .2 .5 串口通信模块程序设计 174 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .3 L811HS 与 MC68HC912D60A 的通信程序设计 175 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .3 .1 通信总线的定义 175 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .3 .2 读数据 177 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .3 .3 写数据 179 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .3 .4 读/ 写批量数据 180 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .4 USB 主机的系统软件设计 181 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .4 .1 嵌入式 USB 主机系统的核心程序之间的关系 181 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .4 .2 SL811HS 的初始化 182 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .4 .3 实现 USB 的设置、输入和输出事务 182 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .4 .4 实现 USB 的数据传输方式 189 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .4 .5 实现标准的 USB 请求命令 191 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .4 .6 枚举设备和获取描述符 192 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .5 Mass Storage 类协议的程序设计 194 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .5 .1 命令块封包 CBW 和命令状态封包 CSW 的定义 194 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .5 .2 单批量 Bulk Only 传输协议的程序设计 195 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 12 .5 .3 UFI 子类请求命令的实现 197 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 197 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 13 章 嵌入式 USB 主机系统实例

13 .1 嵌入式 USB 主机系统 Demo 的外观及使用 198 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

6 计算机 USB 系统原理及其主/ 从机设计

13 .2 系统启动 199 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 13 .3 USB 设备的连接与配置 201 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 13 .4 主机和设备之间 Mass Storage 类协议数据通信 202 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 13 .5 基于 FA T 系统的文件管理及实验 202 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 14 章 USB 协议 2 .0 补充版本 On The Go 简介

14 .1 什么是 USB On The Go 205 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .2 USB OTG 设备的功能 205 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .3 USB OTG 的机械层和电气层协议 206 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .3 .1 USB OTG 的接插件 206 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .3 .2 USB OTG 总线的电流要求 207 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .4 USB OTG 体系的软件描述 207 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .4 .1 OTG 配置描述符 207 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .4 .2 会话请求协议 208 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .4 .3 主机交流协议 208 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .4 .4 OTG 的软件结构 209 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .5 开发 USB OTG 设备 209 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .5 .1 支持 USB OTG 的芯片 209 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 14 .5 .2 如何开发 USB OTG 设备 209 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 209 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

# 第 5 部分 USB 设备开发技术

## 第 15 章 通用的 USB 固件源代码分析

15 .1 概 述 212 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 15 .2 端点的数据读/ 写处理 213 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 15 .3 控制传输与 USB 标准请求命令的处理 214 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 15 .4 其他传输方式的实现 220 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 221 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 16 章 USB Hub 设计 22

16 .1 USB Hub 结构及功能简介 222 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .1 .1 USB Hub 对 USB 体系的重要意义 222 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .1 .2 USB Hub 的功能 223 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .1 .3 USB Hub 的结构 223 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .2 USB Hub 的软件编程基础 225 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .2 .1 USB Hub 的电源工作模式 225 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .2 .2 USB Hub 的描述符 226 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .2 .3 USB Hub 的类特定请求 228 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .3 基于 GL652USB 的 7 端口 USB Hub 的设计 229 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

7目 录

16 .3 .1 GL652USB 简介 230 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .3 .2 USB Hub 的电路原理图设计 231 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .3 .3 USB Hub 的 PCB 设计 233 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 16 .4 USB Hub 在嵌入式系统中的灵活应用 234 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 234 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯

## 第 17 章 基于 HID 的 USB 设备开发实例

17 .1 内嵌 USB 模块的单片机 MC68HC908JB8 介绍 235 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .1 .1 MC68HC908JB8 的特点 235 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .1 .2 MC68HC908JB8 的功能结构 236 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .1 .3 MC68HC908JB8 的 USB 模块 238 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .1 .4 MC68HC908JB8 的开发手段 247 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .2 USB HID 设备类协议 251 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .2 .1 HID 设备类简介 251 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .2 .2 HID 设备类在 USB 中的定义 251 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .2 .3 HID 的数据传输方式 252 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .2 .4 HID 的属性描述符 253 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .2 .5 HID 描述符实例 256 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .2 .6 HID 的特定设备类请求 260 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .3 USB 安全钥概述 265 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .3 .1 USB 安全钥的完整功能 265 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .3 .2 USB 安全钥的功能流程与扩展 266 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .4 在单片机 MC68HC908JB8 上实现 HID 类协议 267 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .4 .1 MC68HC908JB8 上 HID 类协议的固件设计原理 267 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .4 .2 USB 中断服务程序的实现 269 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .4 .3 USB HID 类协议固件的程序设计 272 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .5 利用 Visual C+ + 开发 HID 的 PC 端软件 281 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .5 .1 PC 端 USB 设备的驱动程序结构 281 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .5 .2 查找 HID 设备 282 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .5 .3 读取 HID 的功能 285 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .5 .4 获取 KeyID 函数 Get\_KeyID( ) 286 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .5 .5 设置 KeyID 函数 Set\_KeyID( ) 287 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .5 .6 用户程序界面的设计 288 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 17 .5 .7 程序运行结果演示 290 ⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯⋯ 复 习 题 292