

TMS320VC5509A USB 设备固件设计与实现

Design of USB Device Firmware in TMS320VC5509A

(华东师范大学)姜宁 沈建华

Jiang,Ning Shen,Jianhua

摘要:TMS320VC5509A 是 TI 推出的新一代高性能、低功耗数字信号处理芯片,并扩充了当今流行的 USB 设备接口模块。本文介绍了嵌入式系统 USB 接口的特点和主要软件模块,分析了 TMS320VC5509A USB 接口模块的结构,给出了 USB 设备固件的设计和实现方案。该方案层次清晰,可移植性强,具有广泛的适用性。

关键词:USB;TMS320VC5509A;片上支持库 CSL;固件协议栈

中图分类号:TP334.5

文献标识码:B

文章编号:1008-0570(2005)8-2-0085-03

Abstract:TMS320VC5509A is a high-performance, low-power, fixed-point TMS320C55x(tm) Digital Signal Processor with USB interface module. In this paper, we analyse the architecture of TMS320VC5509A USB module, and introduce a firmware design based on TI TMS320VC5509A.

Key Words: USB;TMS320VC5509A;Chip Support Library;firmware protocol stack

引言

DSP 的优势是其出色的数据运算能力,但它的通信接口功能一般都较弱。随着嵌入式系统在各个领域的广泛应用,越来越多的应用不仅要求嵌入式处理器有足够的数据处理能力,还希望有简单、可靠的数据通信功能。USB 是目前非常流行的通信接口,具有低功耗、即插即用、广泛的软硬件支持、价格低廉等优点。TI 最新推出的新一代 TMS320VC5509A DSP,整合了嵌入式系统的许多功能,具有高性能(400MIPS @200MHz)、低功耗的特点,并在外设中集成了 USB 设备接口,具有广泛的适用性。

1 嵌入式系统中的 USB 接口

USB 作为计算机领域的新型接口技术,至今在嵌入式系统中的应用还处于起步阶段,远不如 RS232 等传统接口应用普及。这主要是因为 USB 的许多优点都是从使用者角度而言的,从开发者的角度来看,USB 接口的协议复杂性增加了,为 USB 固件及 PC 驱动设计增加了难度。VC5509A 是一种带有 USB 设备控制器的数字信号处理器,使用 VC5509A DSP,可以不用外扩 USB 控制器芯片,即可实现带 USB 通信功能的智能外设。

一般来说,一个完整的 USB 接口软件主要由四个

部分组成:USB 主机端设备驱动程序、USB 主机端应用程序、USB 设备端通信固件程序和 USB 设备端应用程序。

其中,应用程序根据不同的系统需求而不同。USB 接口软件的主要难点在于 USB 设备端通信固件程序和主机端的设备驱动程序,这里主要介绍设备端固件的设计与实现。

2 VC5509A USB 模块硬件结构分析

VC5509A 的 USB 模块有 16 个端点(endpoint)。其中有两个控制端点,输入端点 0 和输出端点 0;14 个通用端点,输入端点 1~7 和输出端点 1~7。

USB 接口的数据传输的方向可以分为 Out 传输(由主机到 USB 设备)和 In 传输(由 USB 设备到主机)。In 传输时,CPU 或者 USB DMA 控制器将数据放在 Buffer RAM 中,进而数据通过 UBM (USB Buffer Manager)到达 SIE(串行接口引擎),由 SIE 负责将片内的并行数据转换成串行数据后通过 USB 接口输出。Out 传输与之方向相反,原理和传输路径相同。图 1 所示为主机与 DSP 存储器之间通过 USB 接口进行数据传输的示意图。

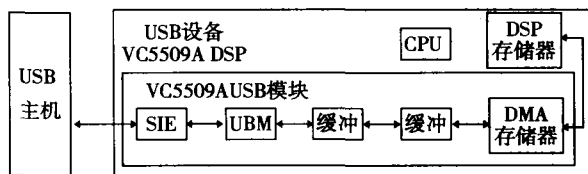


图 1 主机与 DSP 存储器之间的数据传输

3 USB 的固件设计与实现

使用 VC5509A DSP 芯片的 USB 接口,DSP 系统对外部而言可以看作一个 USB 设备。USB 设备作为一个完整的硬件设备,是由硬件和固件两部分组成的。固件包括有关系统的配置、模块初始化以及 USB 协议栈三部分。其中,系统配置是在芯片上电就完成的,与具体系统实现的功能密切相关。因此对于 VC5509A 来说,固件设计需要实现的主要功能可分为两部分:

1) USB 设备的初始化与配置:告知主机设备的能力和特性,并为设备分配地址。

2) USB1.1 的标准的协议的应答(即实现固件协议栈),并以批量(BULK)方式通过 InEndpoint2 与 Ou-

姜宁:讲师

电话:010-62132436,62192616(T/F)

《现场总线技术应用 200 例》



中国自控网:<http://www.autocontrol.cn>

邮局订阅号:82-946 120元/年 - 85-

tEndpoint2 完成 DSP 与 PC 机的数据交换。

3.1 初始化配置

VC5509A 的 USB 固件设计中,初始化配置是很重要的一环。对于 55xx 系列的 DSP 芯片, TI 在其开发环境 CCS 中带有芯片支持库 CSL(chip support library), CSL 以函数或者宏的形式提供一系列 DSP 硬件操作接口。使用 CSL 可以使 USB 模块驱动的编写变得方便快捷。编写通信接口固件可以通过 CSL 对 USB 模块进行配置,具体步骤:

* 初始化应用函数接口向量指针, USB_setAPIVectorAddress() 函数使得使用者可以通过函数调用表来访问芯片支持库 CSL 的 USB 应用函数 API。

* 初始化 USB 时钟产生器以产生 USB 模块所需要的 48MHz 时钟。USB 模块需要 48MHz 时钟驱动, CLKIN 的时钟可以不等于 48MHz, 但必须通过 USB 时钟产生器产生 48MHz 时钟。可以通过 USB_initPLL() 函数来完成。该函数有三个参数, 第一个是输入频率, 第二个是输出频率, 第三个是输入时钟分频数。

* 初始化函数 USB_init() 初始化 USB 模块。该函数有三个参数, 第一个是 USB 设备号, 第二个指向一个以 NULL 结束的初始化端点目标的句柄组成的数组, 第三个是帧预起始定时器的计数值。

* 当 USB 模块初始化完成后, 通过 USB_devConnect 函数, 使 USB 模块与总线联接, 发送和接收 USB 源数据。USB 模块与主机的相连接, 需要在 DSP 上运行相应的代码, 以支持 USB 协议。如果没有 USB 协议处理代码, DSP 将不能处理接受到的数据, 导致 DSP 被主机挂起。USB 协议处理代码将在 3.2 传输方式和 3.3 的固件程序框架中介绍。

USB 模块配置与初始化代码如下:

```
CSL_init(); /* 初始化片上支持库 */
USB_setAPIVectorAddress(); /* 初始化应用函数接口向量指针 */
USB_disconnectDev(USB0); /* 将 USB 模块与总线断开, 保证配置正确进行 */
USB_initPLL(12, 48, 0); /* 产生 48MHz 时钟 */
..... /* 创建端点对象, 并初始化端点对象 */
USB_EpHandle hEpObjArray[] = {&EndptObjOut0, &EndptObjIn0, ....., NULL};
/* 以 NULL 结束的初始化端点目标的句柄组成的数组 */
USB_init(USB0, hEpObjArray, 0x80); /* 初始化 USB 模块 */
USB_devConnect(USB0); /* 将 USB 模块与总线联接 */
..... /* DSP 进入枚举过程, 进行设备请求命令的应答 */
```

3.2 传输方式的实现

USB 总线上的信息包括差模数据线上的包以及一些有特殊意义的数据线上的信号, 如设备唤醒、复位等等。根据 USB 总线传输的不同数据, USB 定义了四种传输方式: 控制传输、中断传输、批量传输、同步传输。四种传输方式分别对应于不同的传输环境要求。

USB 协议栈应该能够识别不同的数据, 并用不同的传输类型并对它们进行相应的处理。

控制传输是最为复杂的传输类型, 也是最重要的传输类型, 是 USB 枚举阶段最主要的数据交换方式。主机一旦发现 USB 设备连接到总线上, 就通过控制传输来交换信息: 设置设备地址、读取设备描述符和选择配置。下面重点分析在 VC5509A 上实现控制传输的方法。中断传输、批量传输和同步传输较之控制传输要简单, 可以在控制传输的基础上实现。

控制传输中的硬件操作接口可以通过片上支持库 CSL 中的两个的 API 函数实现:

接收 Setup 包函数 USB_getSetupPacket() 和传输函数 USB_postTransaction()。前者可以由数据缓冲区中读取 Setup 包, 后者通过端点发送和接收 USB 数据。当 USB 设备初次联接到总线上时, DSP 通过 USB_getSetupPacket() 函数来交换信息、设备地址和读取设备的描述符。

```
USB_SetupStruct USB0_SetupPkt; /* 定义承载 Setup 包的 USB_SetupStruct 型变量 */
void USB_Endpt0EventHandler(void) /* 控制端点 0 的中断服务程序 */
{
    if (USB_getEvents (EndptObjIn0) & USB_EVENT_SETUP) /* 判断 Setup 事件发生 */
    {
        if(USB_getSetupPacket(USB0, USB0_SetupPkt) == USB_TRUE)
            /* 由数据缓冲区中读取 Setup 包并保存在变量 USB0_SetupPkt 中 */
            {
                /* 以下分析由主机传送过来的 setup 包, 并作相应处理, 完成总线枚举 */
                switch(USB0_SetupPkt.bRequest)
                {
                    case GET_STATUS: // 获取状态请求(2byte)
                    case CLEAR_FEATURE: // 清除特性请求
                    case SET_FEATURE: // 设置特性请求
                    case SET_ADDRESS: // 设置地址请求
                    case GET_DESCRIPTOR: // 获取描述符请求
                    case SET_DESCRIPTOR: // 设置描述符请求
                    case GET_CONFIGURATION: // 获取配置请求
                    case SET_CONFIGURATION: // 设置配置请求
                    case GET_INTERFACE: // 获取接口请求
                    case SET_INTERFACE: // 设置接口请求
                    case SYNCH_FRAME: // 同步帧请求
```

```

/*-----END-----*/
}
} return;
}

```

以上利用控制传输实现控制端点 0 的中断服务程序,完成 USB 标准请求命令。

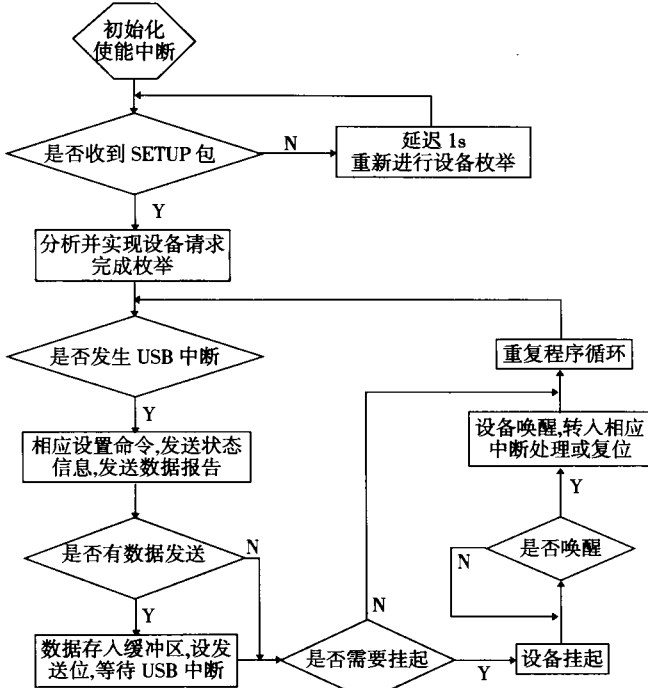


图 2 USB 协议栈固件流程图

3.3 设备固件协议栈

USB 设备固件协议栈以设备端点的使用和管理作为基础和核心,而编写 USB 中断服务程序是整个设备端固件编写的主要内容。固件协议栈主要完成以下功能:

- 1) 设备上电复位,系统初始化,并使能中断。
- 2) 系统等待,直到将 Setup 包接收到端点 0 缓冲区为止。
- 3) 应答设备请求,完成设备枚举。
- 4) 等待 USB 中断,有中断发生则进入中断服务程序,完成系统要求。

图 2 是一个比较精简的 USB 设备固件流程图。

4 结束语

采用该方案设计实现的 USB 通信接口,已经在—个电力故障录波仪系统中成功应用。该录波仪系统使用 VC5509A DSP 完成 32 路模拟量的实时数据采集、分析和压缩,同时主机通过 USB 接口读取录波仪的数据,或者向录波仪传送配置信息。实践证明系统硬件结构简单,USB 固件协议栈工作稳定、可靠,系统开销较小,数据传输速度可以达到 USB 1.1 规范,具有广泛的适用性。

参考文献

[1]"Universal Serial Bus Specification Rev1.1" Compaq Intel Microsoft NEC, 1998
 [2] TMS320C55x CSL USB Programmer's Reference Guide, Texas Instruments Incorporated, October 2001
 [3]TMS320VC5507/5509 DSP Universal Serial Bus (USB) Module Reference Guide, Texas Instruments Incorporated, 25 Jun 2004
 [4]TMS320VC5509A Fixed-Point Digital Signal Processor (Rev. C), Texas Instruments Incorporated, 10 Sep 2004

[5]Sen M.Kuo,Bob H.Lee "Real-Time Digital Signal Processing—Implementations,Applications and Experiments with the TMS320C55X"
 作者简介:姜宁(1979-),女,山东海阳人,教师,在职硕士研究生,主要研究方向为嵌入式实时系统。Email: njiang@cs.ecnu.edu.cn;沈建华(1966-),男,江苏无锡人,副教授,主要研究方向为嵌入式实时系统。Email: jhshen@cs.ecnu.edu.cn

Brief Introduction of the Author:JiangNing(1979.6-): female; Han nationality; master's degree; teacher of Information Technology Institute in East China Normal University;specialty is real time embedded system. ShenJianhua,(1966.1-): male; Han nationality; associate professor of Information Technology Institute in East China Normal University; specialty is real time embedded system.

(200062 上海华东师范大学信息科学技术学院)姜宁 沈建华

(Information Technology Institute, East China Normal University, Shanghai 200062) Jiang,Ning Shen, Jianhua

联系方式:

(200062 上海市普陀区中山北路 3663 号 华东师范大学信息科学技术学院计算机系)姜宁

(投稿日期:2005.2.25) (修稿日期:2005.3.10)

(接第 107 页)

[3]曾繁泰 陈美金.VHDL 程序设计[M].北京:清华大学出版社,2000
 [4]仁丽香,马淑芬 TMS320C6000 系列 DSP 的原理与应用.北京:电子工业出版社,2000

作者简介:刘彩虹(1980-),女,民族:汉;甘肃会宁人,中国科学院研究生院硕士生,主要研究方向为微电子技术。liucaihong@impcas.ac.cn

(100039 北京中国科学院研究生院)刘彩虹

(730000 甘肃 兰州中国科学院近代物理研究所)

刘彩虹 敬 岚

(730030 甘肃 兰州西北民族大学)陈秀萍

(Graduate School of The Chinese Academy of Sciences,Beijing 100039) Liu,Caihong

(Institute of Modern Physics,Chinese Academy of Sciences,Lanzhou 730000) Liu,Caihong Jing,Lan

(Northwest Minorities University,Lanzhou 730030) Chen,Xiuping

通信地址:(730000 兰州市 31# 信箱 117 分箱)刘彩虹

(投稿日期:2005.1.25) (修稿日期:2005.2.8)