

文章编号:1673-0062(2009)02-0045-05

## 基于 I<sup>2</sup>C 总线的 A/D 转换设计与虚拟仿真

袁锋伟,黄诗荣,黄鑫

(南华大学 机械工程学院,湖南 衡阳 421001)

**摘要:**介绍了基于 I<sup>2</sup>C 总线的 A/D 转换的接口电路设计与编程,在 Proteus 仿真环境下建立单片机系统电路模型,实现了基于 I<sup>2</sup>C 总线的 A/D 转换测试过程的虚拟仿真.实验证明,单片机虚拟仿真实验简化了程序在目标硬件上的调试工作,有利于缩短系统开发周期,降低成本.

**关键词:**PROTEUS;单片机;I<sup>2</sup>C 总线;虚拟仿真

**中图分类号:**TP336 **文献标识码:**B

## The Design and Virtual Simulation of A/D Conversion Base on I<sup>2</sup>C Bus

YUAN Feng-wei, HUANG Shi-rong, HUANG Xin

(College of Mechanical Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

**Abstract:** This paper introduces the interface design and programming of A/D conversion based on I<sup>2</sup>C Bus and the model for micro-controller system under Proteus simulation environment. At last, simulation was made about the A/D conversion based on I<sup>2</sup>C Bus. The result proves that the work load of program debugging in objective hardware was reduced, development process is accelerated and the cost is lowered by micro-controller virtual simulation experiment.

**Key words:** PROTEUS; MCU; I<sup>2</sup>C Bus; Virtual Simulation

I<sup>2</sup>C 总线是 Philips 公司推出的串行总线, CPU 与各个外围器件仅靠数据线(SDA)和时钟线(SCL)实现完善的全双工数据传输,实现信息交换. I<sup>2</sup>C 总线系统与传统的并行总线系统相比具有结构简单、易实现系统扩展、易实现模块化标准化设计、可靠性高等优点.但在单片机组成的智能化仪表和测控系统中, MCS-51 系列单片机仍

具有相当大的比例,如 AT89S51 等,它们不具有 I<sup>2</sup>C 串行总线接口,而 A/D 转换芯片往往是必不可少的, PCF8591 是一种具有 I<sup>2</sup>C 总线接口的 A/D 转换芯片,与单片机系统构成测控通道可以简化电路,省掉了很多常规电路中的接口器件,提高产品的可靠性.文章将介绍使用 Proteus 软件调试不具有 I<sup>2</sup>C 串行总线接口的单片机应用系统中实

收稿日期:2009-01-05

基金项目:湖南省教育厅基金资助项目(08C753)

作者简介:袁锋伟(1977-),男,湖南新化人,南华大学机械工程学院讲师.主要研究方向:测控技术.

现 I<sup>2</sup>C 总线接口的方法和软件设计.

## 1 A/D 芯片介绍

PCF8591 是具有 I<sup>2</sup>C 总线接口的 8 位 A/D 及 D/A 转换器. 有 4 路 A/D 转换输入, 1 路 D/A 模拟输出. 这就是说, 它既可以作 A/D 转换也可以作 D/A 转换. A/D 转换为逐次比较型. 引脚图如图 1 所示. 电源电压典型值为 5 V.

AIN0 ~ AIN3: 模拟信号输入端.

A0 ~ A3: 引脚地址端.

VDD、VSS: 电源端. (2.5 ~ 6 V)

SDA、SCL: I<sup>2</sup>C 总线的数据线、时钟线.

OSC: 外部时钟输入端, 内部时钟输出端.

EXT: 内部、外部时钟选择线, 使用内部时钟时 EXT 接地.

AGND: 模拟信号地.

AOUT: D/A 转换输出端.

VREF: 基准电源端.

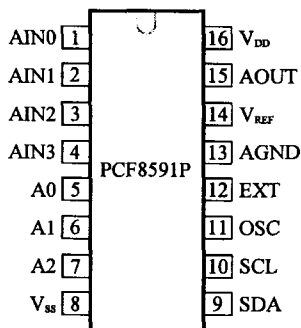


图 1 PCF8591 引脚图

Fig. 1 Pinning diagram of PCF8591

## 2 PROTEUS 软件简介

PROTEUS 软件是来自英国 Labcenter Electronics 公司的 EDA 工具软件, 是一个完整的嵌入式系统软、硬件设计以及交互式仿真平台. Proteus 主要由 ISIS 和 ARES 两个组件组成. ISIS 是 Proteus 软件系统的电路原理图设计环境, 同时也是进行仿真和调试的用户界面. ARES 是用于 PCB 布线的设计工具. Proteus 的最大特色是交互式、可视化的仿真手段. 其中的虚拟系统仿真模型有机地结合了混合模式 SPICE 电路模型、动态器件模型和通用微控制器的完整硬件模型. 通过 Proteus 的虚拟仿真技术 (VSM) 能够完全实时仿真单片机及所有相关外围电路<sup>[1]</sup>.

和其它 EDA 工具相比, PROTEUS 软件的特点:

1) 具有模拟电路、数字电路仿真, 单片机及其外围电路组成的系统的仿真, RS232C 动态仿真, 以及 I<sup>2</sup>C 调试器、SPI 调试器、键盘和 LCD 系统仿真的功能; 有各种虚拟仪器, 如示波器、逻辑分析仪、信号发生器等. 是一款集单片机和 SPICE 分析于一身的仿真软件, 功能强大.

2) Proteus 还提供了在仿真过程中和其他第三方 IDE (如 WAVE、Keil $\mu$ Vision 2 等) 进行程序联调的接口, 能够在基于原理图的虚拟模型上进行系统固件的编程, 并实现软件源代码级的实时调试.

## 3 基于 I<sup>2</sup>C 总线的 A/D 转换设计与虚拟仿真

### 3.1 基于 I<sup>2</sup>C 总线的 A/D 转换接口电路设计

I<sup>2</sup>C 总线是芯片间串行传输总线, 与 SPI、MICROWIRE/PLUS 接口不同, 它由一根串行数据线 (SDA) 和一根串行时钟线 (SCL) 组成, 是全双工双向数据传输线. 核心是主控器 CPU, 被控器的 SDA、SCL 要相应地接到 I<sup>2</sup>C 总线的 SDA、SCL 上, 可以方便地构成多机系统和外围器件扩展系统. I<sup>2</sup>C 总线采用了器件地址的硬件设置方法, 从而使硬件系统具有简单而灵活的扩展方法. 按照 I<sup>2</sup>C 总线的规定, 其 SDA、SCL 各要通过上拉电阻接到电源 VCC 上<sup>[2-5]</sup>.

AT89S51 单片机本身不带有 I<sup>2</sup>C 总线接口, 则可以利用单片机的 2 个 I/O 引脚来模拟实现 I<sup>2</sup>C 总线接口, 其中一个引脚用于模拟 SDA 信号线的时序, 另一个引脚用于模拟 SCL 信号线的时序. 在本设计中, SCL 接 AT89S51 的 P3.4 脚, SDA 接 AT89S51 的 P3.5 脚. PCF8591 的 SDA 与 SCL 引脚分别加上一个 10 k $\Omega$  的上拉电阻. 在单片机应用系统中, 如果 PCF8591 的某些输入脚不使用, 必须将这些引脚接到 Vss 或 VDD 端, 它的模拟输入端也可以接至 AGND 或 VREF 端.

通过在 Proteus ISIS 中绘制系统电路原理图建立仿真模型: 运行 Proteus ISIS, 通过选择相应的元器件, 绘制硬件电路图如图 2 所示. 具有 4 条模拟输入端、一个模拟输出端和一个 I<sup>2</sup>C 串行总线接口; PCF8591 片内集成多路分时复用模拟输入、跟踪保持电路、8 位模数变换电路和 8 位数模转换电路, 其模数转换和数模转换的最高速率由 I<sup>2</sup>C 总线的速度最大值确定. 模拟输出为电流信号, 经过 I/V 转换后, 可以实现单级性输出, 也可接一个双极输出电路, 使模拟量输出为双极性.

在单片机系统的测控通道使用 PCF8591 不

仅可以简化电路设计,减少信号间的相互干扰,同时可以减少对电路板大小的要求,有助于降低设计成本.

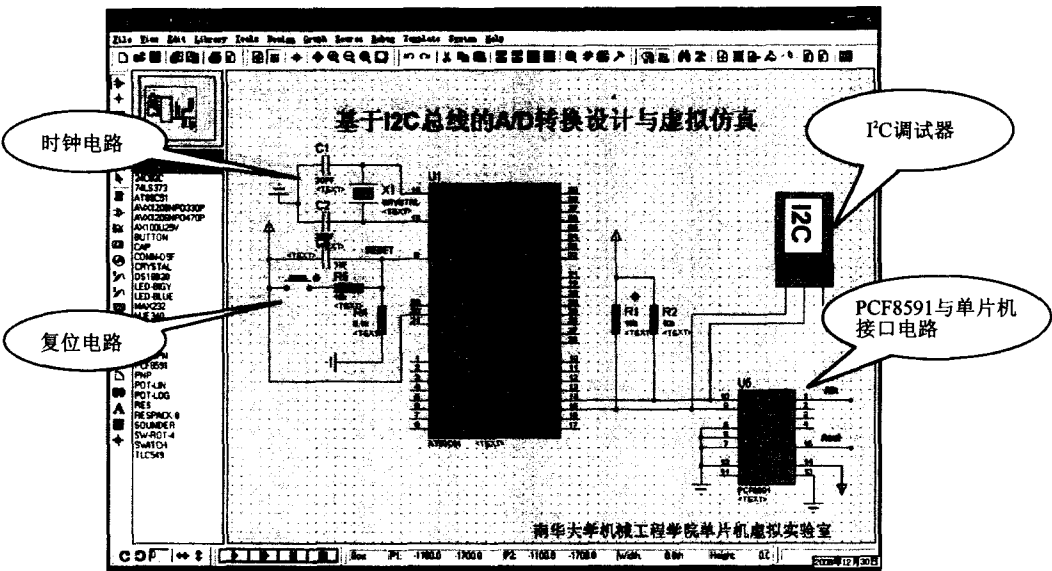


图 2 PCF8591 与单片机接口电路图

Fig. 2 The interface circuit diagram of PCF8591 and MCU

3.2 程序设计

PCF8591 采用典型的 I<sup>2</sup>C 总线接口器件寻址方法,即总线地址由器件地址、引脚地址和方向位组成. 飞利浦公司规定 A/D 器件地址为 1001. 引脚地址为 A2A1A0,其值由用户选择,因此 I<sup>2</sup>C 系统中最多可接 2<sup>3</sup> = 8 个具有 I<sup>2</sup>C 总线接口的 A/D 器件. 地址的最后一位为方向位 R/W,当主控器对 A/D 器件进行读操作时为 1,进行写操作时为 0. 总线操作时,由器件地址、引脚地址和方向位组成的从地址为主控器发送的第一字节<sup>[2]</sup>.

控制字节用于实现器件的各种功能,如模拟信号由哪几个通道输入等. 控制字节存放在控制寄存器中. 总线操作时为主控器发送的第二字节. 其格式如图 3 所示:

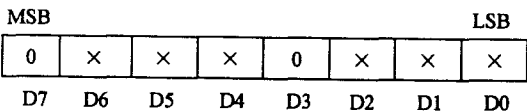


图 3 控制字节的格式

Fig. 3 Format of contral byte

其中:D1、D0 两位是 A/D 通道编号:00 通道 0,01 通道 1,10 通道 2,11 通道 3;D2 自动增益选择(有效位为 1);D5、D4 模拟量输入选择:00 为四路单数入、01 为三路差分输入、10 为单端与差

分配合输入、11 为模拟输出允许有效.

当系统为 A/D 转换时,模拟输出允许为 0. 模拟量输入选择位取值由输入方式决定:四路单端输入时取 00,三路差分输入时取 01,单端与差分输入时取 10,二路差分输入时取 11. 最低两位是通道编号位,当对 0 通道的模拟信号进行 A/D 转换时取 00,当对 1 通道的模拟信号进行 A/D 转换时取 01,当对 2 通道的模拟信号进行 A/D 转换时取 10,当对 3 通道的模拟信号进行 A/D 转换时取 11<sup>[6-7]</sup>.

图 4 为 I<sup>2</sup>C 总线数据传输格式示意图,第一部分为数据传输起始信号,即由此开始进行数据传送;第二部分为受控 IC 的地址,用来选择向哪一个受控 IC 传送数据;第三部分为读/写位,它指示出受控 IC 的工作方式;第四部分为应答信号,它是被 CPU 选中的受控 IC 向 CPU 传回的确认信号;第五部分为传送的数据;第六部分为停止位. 在 I<sup>2</sup>C 总线上挂接的所有被控 IC 都要有一个自己的地址,CPU 在发送数据时,I<sup>2</sup>C 总线上的所有被控 IC 都会将 CPU 发出位于起始信号后面的受控电路地址与自己的地址相比较,如果两者相同,则该被控 IC 认为自己被 CPU 选中,然后按照读/写位规定的工作方式接收或发送数据.

因 AT89S51 单片机不具有硬件 I<sup>2</sup>C 总线接口,只能靠编写软件来模拟 I<sup>2</sup>C 总线时序. 所以本

设计采用 P3.5 用于模拟 I<sup>2</sup>C 的 SDA 信号线, P3.4 用于模拟 SCL 信号线. 所有遵循 I<sup>2</sup>C 总线协议的器件都必须按照 I<sup>2</sup>C 总线协议规定的时序来进行读、写操作, 所不同的只是他们的器件地址以及内部访问单元的地址.

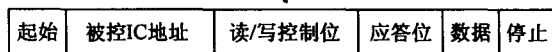


图4 I<sup>2</sup>C 总线数据传输格式

Fig. 4 Data transmission format of I<sup>2</sup>C Bus

根据 I<sup>2</sup>C 总线时序图和 I<sup>2</sup>C 总线的数据传输规范, 给出其 A/D 转换的程序流程图如图 5 所示, D/A 转换程序流程图如图 6 所示<sup>[5-6]</sup>. 源程序略.

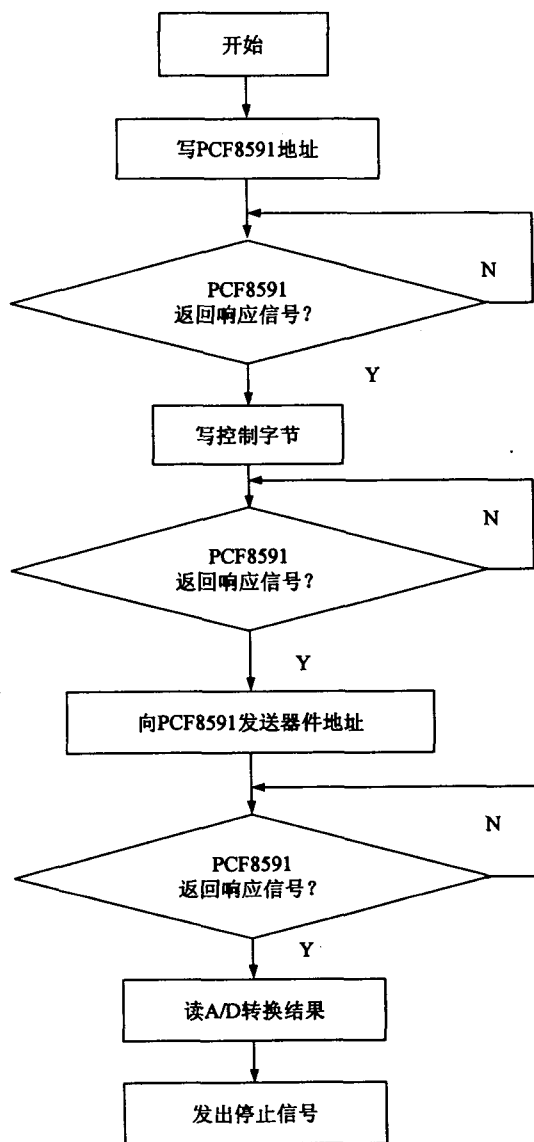


图5 PCF8591A/D 转换程序流程图

Fig. 5 Program flow diagram of A/D conversion

运行 WAVE 软件, 输入源程序, 保存为后缀名为 \*.ASM 的文件, 然后编译, 进行软件调试, 观察涉及到的寄存器与存储单元的内容变化是否正确, 最后生成后缀名为 \*.HEX 的文件.

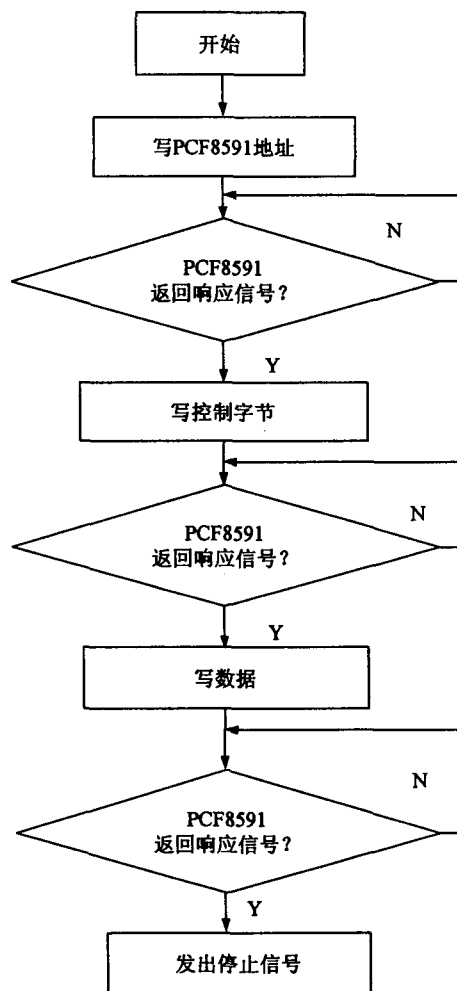


图6 PCF8591D/A 转换程序流程图

Fig. 6 Program flow diagram of D/A conversion

### 3.3 基于 Proteus 软件实现虚拟仿真调试

在 Proteus 软件中系统的调试界面如图 2 所示, PCF8581A/D 转换接口电路设置为单极性工作方式, 输入电压范围为 0 ~ +5 V, 且 A/D 转换芯片为 8 位, 所以转换结果(数字量)  $D$  与输入电压(模拟量)  $U$  之间理论上如下关系:  $D = \frac{V}{5} \times 255$ .

为了实现虚拟仿真调试, 在图 7 中将 PCF8581 的 A2A1A0 引脚接地, 相应的模拟信号输入通道(AD0 通道)与一个电位器连接, 通过调节电位器的输出电压, 控制电位器的输出电压的变化, 来模拟 PCF8581A/D 芯片的模拟输入量, 然后使用工具条或快捷键启动仿真器, 运行加载在

WAVE 软件中编译的 A/D 转换源程序,就可以对以上硬件电路设计进行仿真,也就相当于进行了单片机使用 PCF8581 完成 A/D 转换的实验,该设计就相当于虚拟的实验设备.通过 Proteus 软件中 I<sup>2</sup>C 调试器(I<sup>2</sup>C DEBUGGER)可以看到 PCF8591 的器件地址、控制字节以及转换后的数字量,将它们与程序中的器件地址及控制字节比较,就可以知道其是否正常工作.

如图 7 可知,A0、A1、A2 接地,所以 PCF8591 的器件地址为 90H、控制字节为 40H,读地址为 91H,选择模拟输入通道为 AD0 通道.加载源程序,然后启动仿真器,在图 6 中可以看到电位器的输出模拟电压,经过数字电压表检测,显示为 +1.5 V,经过 A/D 转换后,在 I<sup>2</sup>C 调试器中观察到数字量为 4CH,这证明了 PCF8591 是正常工作的,A/D 转换源程序也是正确的.

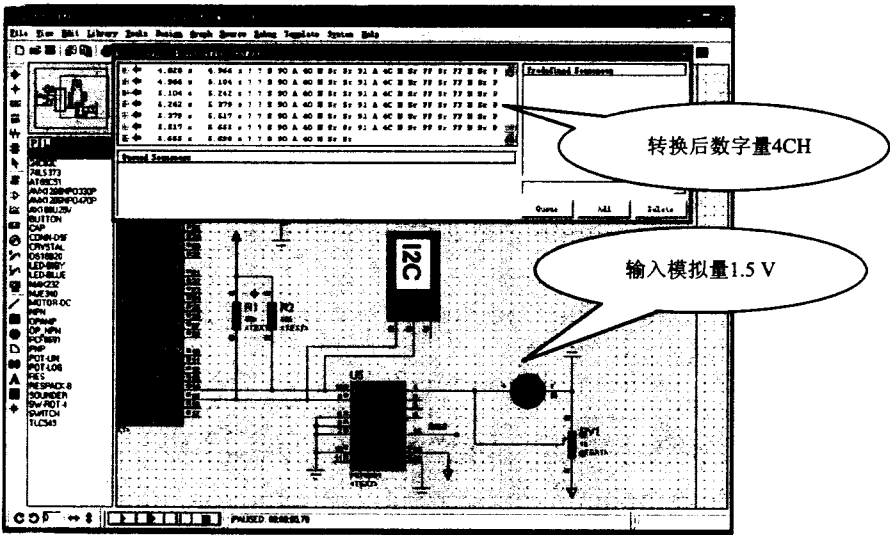


图 7 PCF8581 A/D 转换仿真图  
Fig. 7 Simulation diagram of A/D conversion

PCF8581D/A 转换虚拟仿真的步骤与 A/D 转换的仿真一样.不同的是,仿真时数字信号由单片机发出,启动 D/A 转换后,采用 I<sup>2</sup>C 调试器及

数字电压表检测. PCF8591D/A 采集卡的器件地址为 90H、控制字节为 40H,单片机发出 00H,数字电压表显示 0 V.如图 8 所示.

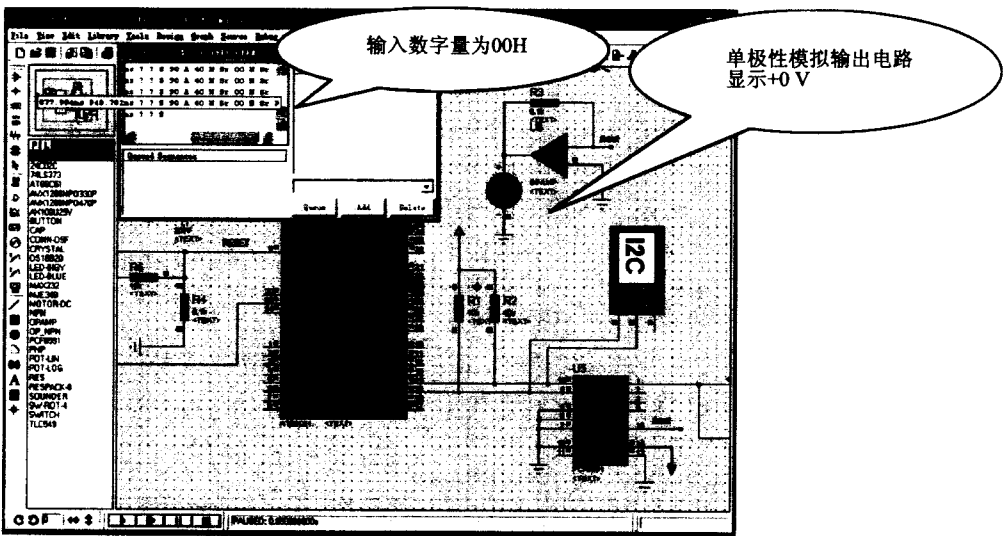


图 8 PCF8591 D/A 转换仿真图  
Fig. 8 Simulation diagram of D/A conversion

(下转第 59 页)

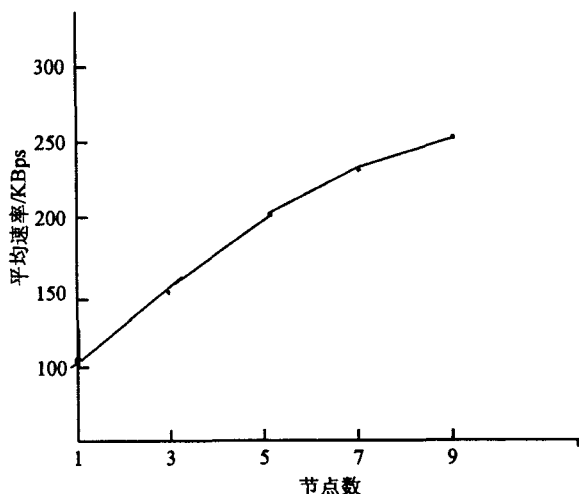


图 4 可用节点数对下载速率的影响

Fig. 4 Influence of available node on the download rate

### 3 结论

文章分析了卫星信息分发的特点,并在此基础上深入研究了支持卫星信息分发的并行多点

传输.围绕如何给卫星信息提供灵活,高效,可扩展的分发服务,探讨了基于信息分发的并行多点传输技术,并在此之上,基于卫星信息的特点,对并行多点传输提出了一些改进.在节点的选择上提出了一种基于节点簇和响应时间的节点选择策略以此来增大文件分发的成功率和节点的利用率,提高网络的性能.

#### 参考文献:

- [1] 汤 韦,吴朝晖. P2P - 对等网络的未来[J]. 计算机应用研究,2004,21(1):13-16.
- [2] Hari Balkaris Lhnan, Kaashoek M F, David Kargeet, et al. Looking up data in P2P systems[J]. Communications of the ACM,2003,46(2):43-48.
- [3] 钟卫铭,黄传华. 对 P2P 文件多点传输的改进[J]. 计算机工程与设计,2006,27(12):2291-2293.
- [4] 刘宏亮. BitTorrent 核心算法研究与改进[D]. 北京:北京交通大学,2008.
- [5] 房 飞. 优化的点对点文件交换系统 Optimization Peer 的原理与设计[D]. 济南:山东大学,2006.

(上接第 49 页)

### 4 结束语

Philips 公司推出的 I<sup>2</sup>C 总线系统较通用单片机系统电路简单.由普通 CPU 芯片同 I<sup>2</sup>C 专用器件组成的系统为模拟 I<sup>2</sup>C 系统,它性能稳定,价格较低,具有较大的应用前景.本文给出了不具有 I<sup>2</sup>C 串行总线接口的单片机应用系统中实现 I<sup>2</sup>C 总线接口的方法和软件设计,具有一定的通用性,且易于嵌入移植.在完成了基于 I<sup>2</sup>C 总线的 A/D 转换的接口电路和软件设计后,采用 Proteus 与 WAVE 软件仿真,完成了整个硬件和软件系统的统一调试过程.借助于 Proteus 仿真环境,使用虚拟仿真实验方法进行嵌入式系统实验,能够在单片机系统的硬件物理原型尚未就绪的情况下进行全部功能的模拟实现,极大地简化单片机程序在目标硬件上的调试工作,从而有效缩短了系统开发周期,降低了开发成本.

#### 参考文献:

- [1] 余新拴,李建忠. 消失模充型速度测试的虚拟仿真[J]. 微计算机信息,2007,4(23):278-280.
- [2] 胡汉才. 单片机原理及其接口技术[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [3] 孙传友. 测控系统原理与设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [4] 张友德. 单片机原理应用与实验[M]. 天津:复旦大学出版社,1992.
- [5] 陈小忠,黄宁,赵小侠. 单片机接口技术实用子程序[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
- [6] 周剑利,郭建波,崔 涛. 具有 I<sup>2</sup>C 总线接口的 A/D 芯片 PCF8591 及其应用[J]. 微计算机信息,2005,7(21):150-151.
- [7] 杨金岩,郑应强,张振仁. 8051 单片机数据传输接口扩展技术与应用实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.