

文章编号: 1001-893X(2010)12-0081-05

基于 DSP 的移动基站信号监测设备设计*

温 武¹, 贺德华²

(1. 广州大学 计算机科学与教育软件学院, 广州 510006; 2. 华中科技大学 电子与信息工程系, 武汉 430074)

摘 要: 针对移动基站信号时域分析和频域分析的需求, 提出了利用 DSP 等芯片组成可行的 TMS320F28234 最小系统和 RS-232/USB 通信转换模块的硬件实现方案。通过分析应用实数 FFT 算法和串口通信协议, 有效地完成信号的采集、A/D 转换、频谱分析和下位机与上位机之间的通信, 以及信号分析等功能, 从而了解通信系统的运行状况, 为移动基站的正常运行提供保障。

关键词: 移动通信; 基站; 信号监测; 数字信号处理; 实数 FFT; 通信协议

中图分类号: TN911.7 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2010.12.017

DSP-based Design of Signal Monitoring System for Mobile Base Stations

WEN Wu¹, HE De-hua²

(1. School of Computer Science & Educational Software, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

2. Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of
Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: According to the requirement of time domain and frequency domain analysis of signals for mobile base stations, the portable signal monitoring equipment is proposed in this paper, which applies a minimum monitoring system based on TMS320F28234 and a RS-232/USB communication conversion module. Several key technologies are discussed, including real FFT algorithm, serial communication protocol, design of main program, etc. All these methods ensure that the system can implement signal acquisition, A/D conversion, spectral analysis, communication between master computer and this equipment, and signal analysis. Therefore the equipment can provide the operation status of communication system to make mobile base station be under normal operation state.

Key words: mobile communication; base station; signal monitoring; digital signal processing; real FFT; communication protocol

1 引 言

随着移动通信网络的快速发展, 通信覆盖面的日益扩大, 以及广大客户不断提升的服务要求, 促使运营维护部门对通信设备的维护管理提出了更高的要求, 尤其是在重大节日或活动期间的应急通信保障和集中调度。移动通信基站是发送和接收信号的基本设施, 传递的一般是电信号, 传统的示波器等仪

器只能测量模拟信号, 了解信号的时域特性, 在对移动基站信号进行监测时又往往需要从频域的角度对信号进行分析; 同时, 基于 DSP 的监测设备与目前还在广泛使用的基于普通 8 位或者 16 位单片机的监测设备相比, 具有处理速度快、可扩展性和适应性强、性能和精度高等优势, 在这种情况下设计和实现可以通过 USB 链路按照既定通信协议进行通信的单机工作 DSP 最小系统, 就能有效地完成信号的采

* 收稿日期: 2010-08-30; 修回日期: 2010-10-21

集、A/D 转换、频谱分析和将数据传到上位机加以分析和存储等功能,进而可以了解通信网络的运行质量情况,便于运营维护人员及时发现通信网络隐性故障等问题,并适时采取应急措施,从而保障通信网络安全、稳定运行。

2 系统硬件设计

2.1 系统总体结构

数字信号处理技术的出现、FFT 算法的提出和 USB 接口的广泛应用,给数字信号处理领域带来了革命性的进步,极大地提高了信号检测的测量精度和速度,也促使测控系统设计向微型化和轻型化发展^[1]。如图 1 所示,便携式的移动基站信号监测设备将现场采集的通信信号经过信号调理和滤波后进行 A/D 采样,并转换为数字信号,然后对采样信号进行时域和频域的分析,最后将数据通过 RS - 232 接口转 USB 接口电路,由 USB 线缆上传到上位机,上位机软件完成对数据作进一步分析处理并存储。

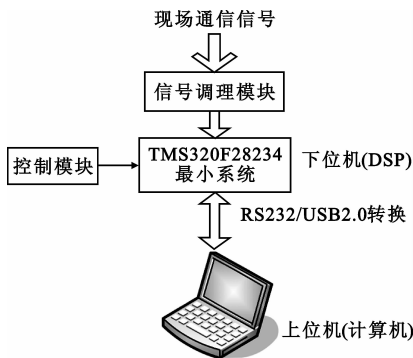


图 1 移动基站信号监测设备硬件结构图
Fig.1 Hardware structure of signal monitoring equipment for mobile base station

2.2 DSP 最小系统设计

利用 DSP 芯片组成可行的最小系统是整个移动基站信号监测设备的核心,由 DSP 芯片和人机交互模块、电源管理模块和通信接口模块等一些辅助电路构成,如图 2 所示,完成信号的通信与监测功能。美国 TI 公司的定点 DSP 芯片 TMS320F28234 是一款较为完整的高性能高速数据采集与控制单片系统,该器件具有处理速度快、精度高、成本低、功耗小、性能高、外设集成度高、数据以及程序存储量大、内置信号采样模块(ADC)、A/D 转换更精确快速等特点,不仅适用于数字信号处理,而且在图像处理、

语音处理、通信等领域得到了广泛应用,已成为通信、计算机、消费类电子产品以及控制等领域的基础器件,更是那些需要进行定点运算的便携式产品的理想选择^[2]。系统首先由芯片内置的 12 位 ADC 直接把模拟信号连接到处理芯片上,然后在 DSP 内,运用数字信号处理算法进行滤波和快速傅里叶运算(FFT),然后基于 PWM 的虚拟 DAC 输出,并通过键盘和 LED 显示进行人机交互,同时通过一个 RS - 232 接口转 USB 接口的电路,使用 USB 接口与上位机连接,将采集的原始信号和处理过的信号传送给上位机,由计算机软件进行分析和显示,以及数据存储。

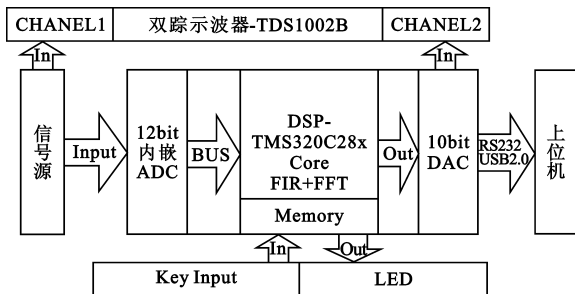


图 2 系统结构框图
Fig.2 Block diagram of system structure

2.3 通信接口设计

目前 RS - 232 接口是最为常用的串行接口标准,大量的集成设备、工业产品都提供了 RS - 232 接口,因此监测系统通常情况下将采用 RS - 232 接口与计算机进行通信,但随着时间的推移和计算机技术的发展,RS - 232 接口及打印机并行接口已经逐步被淘汰,在一些笔记本电脑及品牌计算机上已经越来越少配备或不配备这两种接口,取而代之的是支持热插拔的 USB 标准接口和 IEEE 1394 接口,USB 接口与 RS - 232 接口相比具有数据传输速率高、易于使用、适用于多种设备并且不需要占用系统外设地址、节约系统资源等优点^[3,4]。由于 RS - 232 接口和 USB 接口的数据格式、通信协议、信号电平以及机械连接方式不相同,因此需要将监测系统的 RS - 232 接口转换成 USB 接口,这样才可以与计算机进行连接,但是从硬件底层固件开发基于 USB 接口的设备远比 RS - 232 接口复杂,特别是在下位机硬件驱动和上位机驱动程序的编写方面,而且开发成本高;另外,USB 标准也不允许远距离的数据传输。综合考虑两者的特点,系统通信接口设计在硬件方面应用桥接器件 CP2102 做一个 RS - 232 接口转 USB 的电路,使用

USB 接口与上位机连接,上位机开发虚拟驱动程序将端口重定位到 RS-232 接口,上位机主程序便可方便地用读取串口的方式读取 DSP 系统上传的数据。转换原理示意图如图 3 所示。

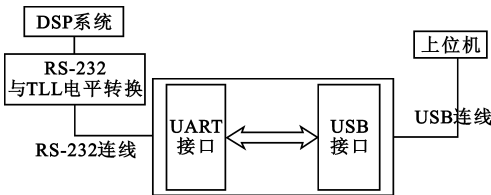


图 3 RS-232/USB 转换示意图
Fig.3 RS-232/USB converting diagram

RS-232/USB 转换模块由 USB 接口电路模块、UART 接口电路模块、数据缓冲器和协议控制单元等组成,USB 接口电路模块主要提供与上位机的数据传输和完成 USB 数据与 UART 数据之间的转换。UART 接口需要实现标准 RS-232 接口的连接。协议控制单元通过接收 USB 接口的命令,对 UART 接口进行配置,包括波特率、数据位、校验位、停止位参数的配置。当 RS-232/USB 接口连接到计算机后,计算机检测到设备后进行设备初始化配置并启动相关驱动程序。上位机应用软件通过驱动程序可以把 USB 接口承载的数据按照常规的串口进行读写操作编程,完成和下位机的通信^[5]。

3 系统软件设计

一方面我们已经通过运用 TMS320F28234 芯片结合适当的外围接口电路为整个便携式移动基站信号监测设备搭建了一个高效的硬件平台,另一方面需要应用 FFT 算法来提高运算速度,因此在软件设计时采用模块化设计,主要分为初始化模块和运行模块,其中包括 DSP 软件主程序、数据处理程序、串口通信程序等关键程序。

3.1 DSP 软件主程序设计

DSP 软件主程序主要对系统控制(包括 PLL、看门狗、使能外设时钟)、相应的 GPIO、SCI 的端口、PIE 控制寄存器、中断向量表、内置 ADC、CPU 计时器、HRPWM、FIR 滤波器等初始化;同时实现一路信号进行 1 024 点采集,并根据联机状态和单机状态来执行相应的操作,分别执行发送原始数据、发送滤波器滤波之后的数据和执行采集原始数据、FFT 计算等过程。主程序流程如图 4 所示。

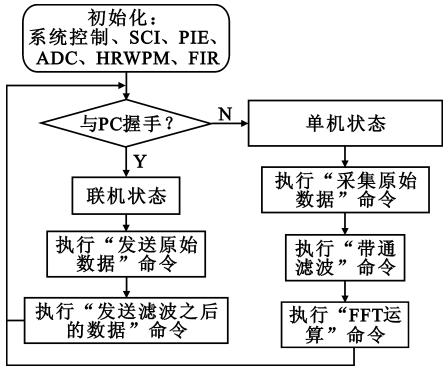


图 4 主程序流程图
Fig.4 Flowchart of main program

3.2 实数 FFT 算法构成

FFT 算法的实质是将长序列的 DFT 运算逐级分解为较短序列的 DFT 运算,使 DFT 的计算量减少了两个数量级,可以很大程度上减少系统的运算时间,从而成为数字信号处理强有力的工具。当输入是完全的实数时,复数 DFT 算法仍然可以使用,一个简单的方法是将虚部填零,实部是采样点,复数 FFT 可以直接被使用。然而,这种方法效率不高,因为它要消耗 $2N$ 个存储单元;然而如果利用输入序列的对称性进行 DFT 计算非常高效,原始的 N 点序列按照 $N/2$ 个复数点打包,然后进行 $N/2$ 点复数 FFT 运算,最后将 $N/2$ 点结果通过一些变换,成为原始实数点的 FFT。这样使得 FFT 的运算量减少了近一半,效率比一般的 FFT 提高近一倍,通过这种变换处理,满足了信号处理系统对实时处理和运算精度的要求^[6]。

假设 $g(n)$ 为 N 点实数序列,则令

$$x_e(n) = g(2n), n = 0: N/2 - 1 \tag{1}$$

$$x_o(n) = g(2n + 1), n = 0: N/2 - 1 \tag{2}$$

定义 $x(n) = x_e(n) + j x_o(n), n = 0: N/2 - 1$ 。则对 $x(n)$ 进行 FFT 计算,如下式所示:

$$X_e(k) = \frac{X(K) + X^*(\frac{N}{2} - k)}{2}, k = 0: \frac{N}{2} - 1 \tag{3}$$

$$X_o(k) = \frac{X(K) - X^*(\frac{N}{2} - k)}{2}, k = 0: \frac{N}{2} - 1 \tag{4}$$

$$RP(k) = \frac{X_r(k) + X_r(\frac{N}{2} - k)}{2} \tag{5}$$

$$IM(k) = \frac{X_i(k) - (\frac{N}{2} - k)}{2} \tag{6}$$

$$IP(k) = \frac{X_i(k) + X_i(\frac{N}{2} - k)}{2} \tag{7}$$

$$RM(k) = \frac{X_r(k) - X_r(\frac{N}{2} - k)}{2} \tag{8}$$

并且 $g(n)$ 的 DFT 为 $G(k) = GR(k) + jGI(k)$, 经推导有以下结论:

$$GR(k) = \frac{RP(k) + WR(k) \times IP(k) - WI(k) \times RM(k)}{2}, \tag{9}$$
$$k = 1: \frac{N}{4} - 1$$

$$GI(k) = \frac{IM(k) - WR(k) \times RM(k) - WI(k) \times IP(k)}{2}, \tag{10}$$
$$k = 1: \frac{N}{4} - 1$$

$$GR(\frac{N}{2} - k) = \frac{RP(k) - WR(k) \times IP(k) + WI(k) \times RM(k)}{2}, \tag{11}$$
$$k = 1: \frac{N}{4} - 1$$

$$GI(\frac{N}{2} - k) = \frac{-IM(k) - WR(k) \times RM(k) - WI(k) \times IP(k)}{2}, \tag{12}$$
$$k = 1: \frac{N}{4} - 1$$

并且有 $GR(0) = GI(0) = GR(N/2) = GI(N/2) = 0$;
 $GR(N/4) = RP(N/4)/2$; $GI(N/4) = -IP(N/4)/2$ 。

本实数 FFT 算法在 CCS 环境下进行软件编程, 采用汇编语言在 TMS320F28234 芯片上实现, 可以计算 N 为 128、256、512、1 024 的实数和复数快速傅里叶变换。

3.3 串口通信协议设计

为保证串行通信的准确性和可靠性, 上、下位机通信双方必须具有相同的通信协议, 即相同的波特率及信息传送格式^[7]。因此, 通信双方的波特率设为 9 600 bit/s, 帧格式如图 5 所示。

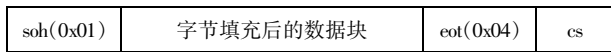


图 5 数据帧结构图
Fig.5 Frame structure

用 ASC II 字符 soh(十六进制 01)和 eot(十六进制 04)分别表示帧起始和帧结束。在帧的结构设计上为避免由于在传输过程中所传的数据有可能出现与 soh、eot 和 esc 相同数据而发生错误的情况, 将发送数据识别为帧起始、结束或者中断, 需要对要发送的数据进行字节填充。选择 ASC II 字符 esc(十六进制 1B)作为一个特殊字符, 当数据中出现 soh 时用 esc 和 x 代替, 出现 eot 时用 esc 和 y 代替, 出现 esc 时用 esc 和 z 代替, 如图 6 所示; 同时采用校验和的检

验方式进行差错处理, 将经过字节填充的数据帧(包括 soh 和 eot)求和, 生成校验和, 并用 4 个字节进行存储, 以保证校验和的计算不发生数据溢出, 确保系统在工作过程中可能会受到外界杂波干扰的情况下数据的正确性。

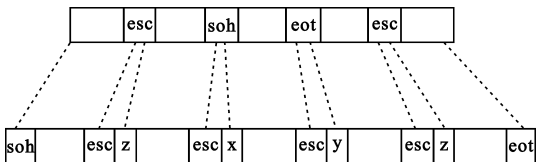


图 6 字节填充映射关系
Fig.6 Illustration of byte stuffing

考虑到上位机必须具有良好的人机界面, 同时还要具有基本的数据显示、存储、打印等功能, 整个接口部分软件采用 JAVA 语言实现数据的接收、处理和反馈, 不仅使代码执行率高, 实时性好, 而且结构更加合理。

4 实验仿真结果

在基于 DSP 的移动基站信号监测设备研制完成后, 采用 100 Hz ~ 20 kHz 正弦波信号, 1.5 V 直流分量, 1.6 V 峰值, 使用 XDS100 仿真器将 DSP 和 CCS3.3 连接, 进行调试, 并通过双踪示波器观察信号输入和滤波之后的信号输出, 将数据通过 RS - 232/USB 转换模块传送到上位机。

通过 ADC 采集的原始数据波形如图 7 所示, 通过滤波器之后的数据波形如图 8 所示。

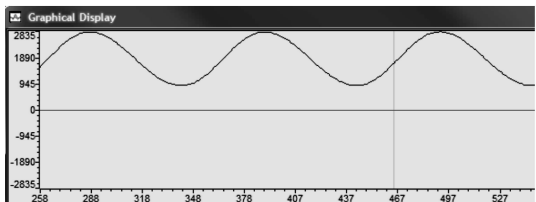


图 7 原始数据波形
Fig.7 Original data waveform

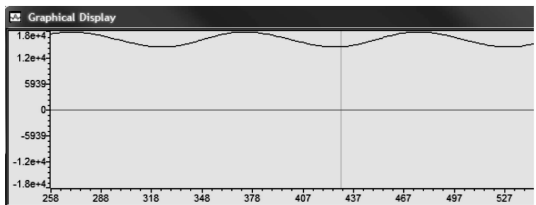


图 8 滤波之后的数据波形
Fig.8 Data waveform after filtering

通过 HRPWM + 4 阶低通滤波器的波形对比如图 9 所示。

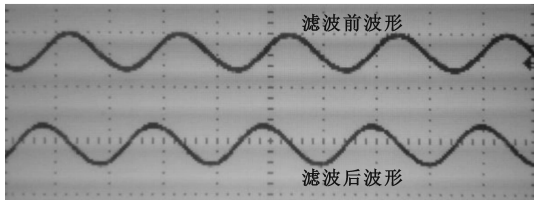


图 9 滤波前后波形
Fig.9 Waveform before and after filtering

以上结果表明,系统可以实现对信号的采集、滤波和通过 RS - 232 接口与 USB 接口转换模块发送原始数据和滤波之后的数据给上位机等功能,通信协议设计合理,程序运行正确。

5 结 论

基于 DSP 的移动基站信号监测设备是独立于通信业务网管系统的基础设施管理平台,能够在各种环境条件下有效地利用 DSP 的信号处理优势,采用实数 FFT 算法和 RS - 232 接口转 USB 接口电路、通信协议、JAVA 语言等软硬件关键技术,实现对现场各种数据的实时、准确的监测,具有测量精度高、实时性好、人机界面友好等特点,从而保证移动通信网络的正常、安全运行。

参考文献:

[1] 李鑫. 浅谈数字信号处理器 DSP 的发展和应用[J]. 硅谷,2008(14):28.
LI Xin. DSP digital signal processor of the development and application[J]. Silicon Valley,2008 (14):28. (in Chinese)
[2] 韩丰田. TMS320F281X DSP 原理及应用技术[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
HAN Feng - tian. TMS320F281X DSP Theory and Application [M]. Beijing:Tsinghua University Press,2009. (in Chinese)
[3] 徐民,张博. 基于 CP2102/CP2103 的 RS232 接口转换为 USB 接口的应用设计[J]. 国外电子元器件,2008(5):

15 - 17.
XU Min,ZHANG Bo. Design of RS232/USB upgrade based on CP2102/CP2103[J]. International Electronic Elements, 2008(5):15 - 17. (in Chinese)
[4] 骆敏,黎亚元,张景明,等. 基于 DSP 的现场总线测控仪开发研究[J]. 中国设备工程,2008(1):45 - 47.
LUO Min, LI Ya-yuan, ZHANG Jing-ming, et al. DSP - based Development of Fieldbus Monitor[J]. China Plant Engineering,2008(1):45 - 47. (in Chinese)
[5] 张博. 用 CP2102 升级串行接口为 USB 接口的应用设计[J]. 自动化技术与应用,2009,28(6):104 - 106.
ZHANG Bo. RS232/USB Upgrade Design with CP2102[J]. Techniques of Automation & Applications, 2009, 28(6):104 - 106. (in Chinese)
[6] 陈恒亮,蒋勇. 基于 DSP 的实数 FFT 算法研究与实现[J]. 动力学与控制学报,2005,3(2):50 - 53.
CHEN Heng - liang, JIANG Yong. Design and Realization of Real FFT Based on DSP[J]. Journal of Dynamics and Control, 2005, 3(2):50 - 53. (in Chinese)
[7] 张丽. 主从式微机给料系统的软硬件设计[J]. 国外电子测量技术,2007,26(5):51 - 53.
ZHANG Li. Design of hardware and software for the master/slave microcomputer feeder system[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2007,26(5):51 - 53. (in Chinese)

作者简介:

温 武(1977 -),男,广东兴宁人,工学硕士,实验师,主要从事网络工程技术和电子信息技术应用研究、实验教学;
WEN Wu was born in Xingning, Guangdong Province, in 1977. He is now an engineer with the M. S. degree. His research interests include network engineering technology, electronic information technology and experiment teaching.
Email: gzwenwu@163.com
贺德华(1964 -),男,湖北武汉人,工学博士,副教授,主要从事信号处理、图像处理和多媒体网络通信技术的研
HE De - hua was born in Wuhan, Hubei Province, in 1964. He is now an associate professor with the Ph. D. degree. His research interests include digital signal processing, image processing and multimedia network.