

# 基于 TMS320C5509 的 DSP 数据采集器设计

龚树超, 赵振纲, 刘佳, 李一喆

(北京邮电大学信息与通信工程学院 数字信号处理实验室, 北京 100876)

**摘要** 基于软件无线电平台, 设计出了一种高精度的军用无中心交互式通信系统<sup>[1,2]</sup>的中频数据采集器。采集器以 TMS320c5509 为采集主嵌入式处理器, 利用多通道缓存串口接口 McBSP 与 AD 模块的实现 SPI 总线方式的数据采集, 采用 DMA 双缓存和并行处理结构均衡实现数据存储、传输和运算过程。采集器采用标准式外设接口和模块化设计具有很强的可扩展性, 现场数据采集试验证明, 该采集器能够实时高精度和高稳定性的完成采集任务。

**关键词** 数据采集; DSP; McBSP; DMA; 并行处理

**中图分类号** TN274 **文献标识码** A **文章编号** 1003-3106(2009)11-0022-04

## Design of Data Acquisition System Based on TMS320C5509 DSP

GONG Shu-chao, ZHAO Zhen-gang, LIU Jia, LI Yi-zhe

(Department of Information and Telecommunication Engineering,  
Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract** Based on the platform of SDR (Software Defined Radio), this paper introduces the design of a high-precision data acquisition of intermediate frequency signals, which is used to process AD (Analog to Digital) data in the military communication system without exchange center (MCSEC). By taking TMS320C5509 DSP as the primary embedded processor, the processor provides SPI data bus with McBSP connected to AD transfer. Simultaneously, the processor realizes the parallel processing of data storage, transmission and calculation. The system can be extended with the standard peripherals interface and modular design. Experimental results of data acquisition show that the system can achieve real-time data processing with high precision and reliability.

**Key words** data acquisition; DSP; McBSP; DMA; parallel processing

### 0 引言

针对基于软件无线电平台上的二代某型号跳频电台, 内嵌无中心交换通信系统, 使得该电台兼容实现跳频电台的无线宽带通信和有线窄带通信 2 种不同体制, 而这样的多模式、多功能的软件无线电通信体制是现代电台的发展趋势。

论文主要基于软件无线电平台上的 TMS320C5509 DSP 处理器, 18 bits AD 处理芯片 7892, 在功率平均损耗为 80 dB 双绞线电缆上, 以采样率 256 kHz, 完成中频语音信道<sup>[3]</sup> 40 ~ 104 kHz 的检测信号和已调语音信号大容量数据采集, 通过 DMA 的乒乓缓存机制传送到 DSP 进行实时运算处理。而制约传统数据采集的 2 个瓶颈指标: 高精度和高速, 在本论文设计中得到很好的折中, 能满足基本的系统指标和实时性。采集器选择的 TMS320C5509 DSP 工作时钟频率 200 MHz, 单指令周期 5 ns; 18bits AD 处理芯片 7892 最少转换时间 1  $\mu$ s, 100 kHz 频率窄带信号以内输出动态范围可达 99 dB, 此数值大于信道的信噪比, 满足设计指标。

### 1 采集器系统结构组成

在软件无线电平台上, 嵌入复杂度更小的窄带有线通信体制, 并使无线和有线 2 种通信体制具有良好兼容性, 要求这种无中心交互式的有线通信体制最简化和易操作。

#### 1.1 采集器工作原理

该通信系统采集器的工作最高频率是由外部晶振 16.384 MHz 通过 DSP 内部 PLL 锁相环 12 倍频后得到 196.608 MHz, 在 DSP/BIOS 中利用对 McBSP1 时钟源和帧信号寄存器的配置如  $FWID = 20$ ,  $CLKGDV = 8$ ,  $FPER = 96$ , 进行分频处理, 得到帧信号 256 kHz 即为同步串行 AD 的采样率, 满足有线信道中信号检测和语音信号的采集。

AD 与 McBSP1 按照 McBSP 的 SPI 主模式连接设计<sup>[4]</sup>, DSP 定时器 1 外部中断管脚 TOUT1 作为片选信号连接 AD 管脚 CNV, McBSP1 的 CLKX、DR 分别

收稿日期: 2009-08-07

连接 AD 管脚 SCK 和 SDO。AD7892 与 DSP 连接时序图如图 1 所示。

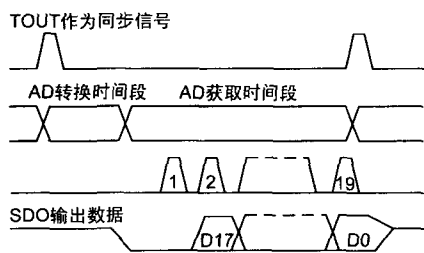


图 1 AD7892 配置的时序图

## 1.2 主要芯片选型

### 1.2.1 AD 处理芯片 7892

Analog device 公司型号为 7892<sup>[5]</sup>是一款高精度中低频 AD 处理芯片,它支持一路差分信号(差分信号电压绝对值:0~5 V)输入,动态范围高达 99 dB,精度达 18 位精度,支持无流水线延时的同步串行口 SPI 总线方式 AD 转换。低功耗、高精度、易控制,为采集器提供了理想 AD 接口设计方案。

### 1.2.2 TMS320C5509DSP

美国 TI 公司的 TMS320C55x 是当前手持式数字系统、无线通信等的主要处理器,TMS320C5509DSP<sup>[6]</sup>就是系列中一种新型低功耗高性能定点型数字信号处理芯片,它包含 2 个 17×17 乘法器,4 个 40 位 MAC(累加器),12 条独立总线片上存储器为 128 KB×16,其中包括 64 KB 的双存储 RAM(DRAM)和 192 KB 的单存储 RAM(SARAM),外设接口有 3 个 McBSP1 接口和 6 个 DMA 通道。其中采集器用到 McBSP1、DMA0 和 DMA1。

## 2 软件设计

### 2.1 数据采集与存储

采集器采样率为 256 kHz,数据采集吞吐量为 4.608 Mb/s;采集数据量需要 16 384×18 bits 的数据,使得通过高阶 4:1 数字抽取滤波器<sup>[7]</sup>,可以将采样率降低到 64 kHz,这样得到有效数据量 4 096×18 bits,信号频率检测分辨率为约 16 Hz。这样低分辨率可以满足系统的检测指标。

在采集器需要采集这么多的数据量情况下,为了尽量利用 DSP 片上 RAM 的快速读写功能,软件设计时,采集与传输采用乒乓缓存形式,而不是直接将所有数据采集存放一个 16 384×18 bits 数据存储空间里,这样不仅消耗大量数据存储空间,而且

对利用这些数据运算、检测带来的极大复杂度和运算量,更难以满足系统实时性。文中因为 AD 采集数据精度高达 18 bits,通过 McBSP1 接口需要 2 个 16 bits 数据接收寄存器 DRR1 和 DRR2,分别存储高 2 bits 和低 16 bits 采集器。因此,在软件设计中在 DSP 内部 DARAM 设计 64×18 bits 临时缓存如图 2 所示。DARAM 可以完成双读写操作,比 SARAM 读写速度快,这样的小数据量快速采集便于后面数据运算处理。加上 DMA<sup>[8]</sup>的使用,使得数据传输时不消耗 CPU 时钟,进而完成边运算边采集的乒乓操作过程:前一帧 DMA 传输到 2 块数据 64×16 bits 空间大小缓存中,分别存储 AD 的高 2 位和低 16 位数据。在 DMA 传输新的一帧期间,CPU 同时处理前一帧数据,这样实现乒乓切换操作。

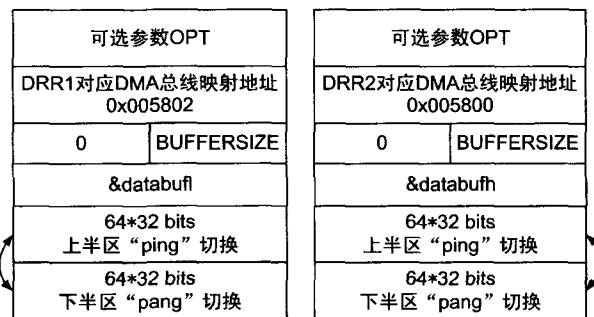


图 2 DMA 乒乓缓存器

### 2.2 并行运算处理结构设计

并行处理采用多组处理单元同时对任务进行处理,减少任务执行的时间。在采集器中,为了实现 18 bits 数据精度,采用 2 个 16 位缓存存放高 2 位数和低 16 位数据,DSP 中提供 2 个乘法器和 4MAC 累加器,为并行处理提供硬件基础,而数据运算处理中存在大量乘加计算,估计数据 256 kHz×100 个乘加运算量占用 CPU 时钟频率 25.6 MHz,即 CPU 计算负载能力约达 13%,双 MAC 操作可以均衡数据传输、存储和运算过程。在软件设计中利用双 MAC 结构设计,在一个周期内,每个 MAC 可以同时完成 17×17 的乘法和 40 位的加法或减法,如图 3 所示。

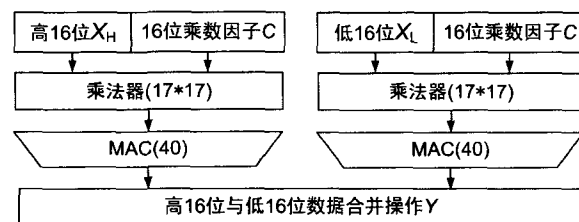


图 3 DSP32 数据并行处理流程

32 位高精度运算设计原理如下:假设  $X = X_H * 2^{16} + X_L$ , 其中  $X$  为 32 位数据,  $X_H$  为高 16 位数据,  $X_L$  为低 16 位数据, 程序采用数据类型强制转换保证  $X_L$  为无符号数据。  $C$  为 16 位有符号的乘数常数因子,  $Y$  为 32 位乘积运算结果。 因为:

$$X * C = (X_H * 2^{16} + X_L) * C = X_H * 2^{16} * C + X_L * C,$$

$$(X * C)_{32} = X_H * C + X_L * C * 2^{16},$$

所以,  $Y = (X * C)_{32}$ 。 这样可以在 DSP 先并行快速计算高 2 位数和低 16 位数, 运算完后合成 32 位数据, 到达高精度实际应用要求, 满足系统指标。

### 2.3 采集器的 DSP 程序设计

采集器的 DSP 程序如图 4 所示。 系统启动后每 64 点数据为一帧, 64 点临时缓存刷新时间约 256  $\mu$ s, 在新的一帧传送到 Pong64 点临时缓之前, 对 Ping64 点临时缓进行处理存入 256 点临时缓存中, 等新的一帧传送完毕, 再对 Pong64 点临时缓进行处理存入 256 点临时缓存中。 存满 256 点后, 切换到 256 点并行运算处理过程中, 得到处理数据存入所开辟的第 2 级缓存中, 如果缓存数据更新完毕, 切换到信号检测任务, 完成信道信号检测任务。 再重新返回 DMA0 和 1 硬中断 64 数据采集。 一次信号检测任务需要的总时间是 65 ms  $\approx$  (4 \* 4096 \* 4)  $\mu$ s。

DSP 程序算法设计中, 采用了 C 和汇编混合编程, 利用汇编更易充分利用并行结构处理资源, 达到快速并行处理功能。

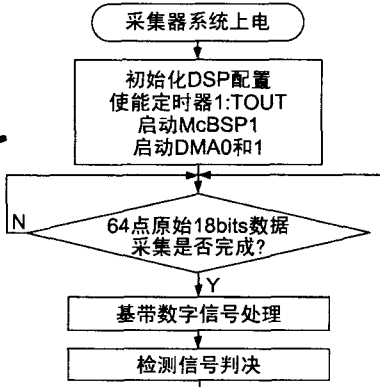


图 4 DSP 程序设计流程

### 3 数据采集实验分析

为了测试采集器性能, 由 SG1026 双低频信号发生器做模拟信号源作为一路测试输入差分信号, 每个采集周期固定为 16 384 点的采集实验。 考察不同周期信号采集, 采集速度的连续性和最大连续采集速度, 测试结果如表 1 所示。

表 1 采集器连续采集性能测试

信号采集频率/kHz	周期采样数	对应采样率/kHz	采集次数	数据出错率/%
76	64	256	256	0.20
	256	256	64	1.30
	64	768	256	0.10
	256	768	64	1.00
84	64	256	256	0.24
	256	256	64	1.70
	64	768	256	0.21
	256	768	64	1.51

从表 1 结果得出, 采用采样率 256 kHz 性能和采样率为 768 kHz 系统采集差错率都在 2% 以下的有效控制范围, 而 64 点明显好于 256 点连续采集, 64 点乒乓操作差错率控制在 0.5% 以内。 因此, 采集器设计采用了采样率 256 kHz 和 64 点乒乓操作。

通过 CCS3.1 集成开发软件对信道检测信号进行扫描和检测, 结果如图 5 所示。 图 5(a) 采集信道中 76 kHz 检测信号, 通过 DSP 基带处理算法, 检测到频点位 1, 即频点 1 对应信道 1 号上的检测信号。 图 5(b) 采集信道中 84 kHz 检测信号, 通过 DSP 基带处理算法, 检测到频点位 3, 即频点 3 对应信道 3 号上的检测信号。 通过判决后, 再通过调制解调方法, 进行某个信道上的语音通信或者数据传输, 完成系统通信方案。

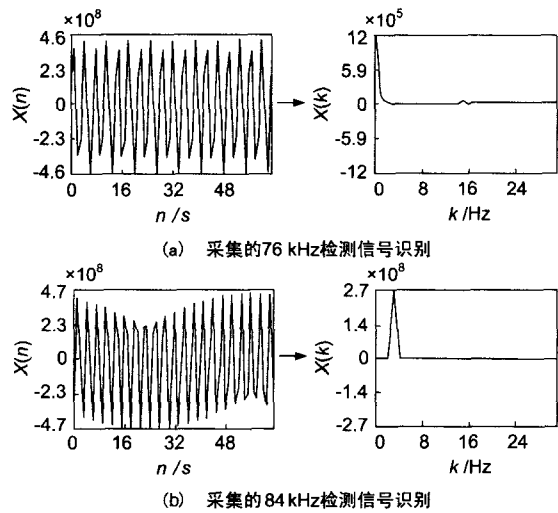


图 5 信道检测信号采集与识别

### 4 结束语

本文介绍了 TMS320C5509 的 McBSP1 与 AD 转换器的 SPI 模式以及 DMA 方式的乒乓 buffer 数据传输机制, 加上软件编程中的流水线技术使得大容量数据采集流畅进行, 也使得处理器芯片更均衡地完成存储、传输与运算功能, 该系统具有设计简便、结

构紧凑和工作稳定等特点。如需要对高频信号进行采样时,可考虑并行结构的 AD 采集系统,并优化设计代码,使得程序设计更加合理紧凑,同样达到实时信号处理的要求。✦

#### 参考文献

- [1] 尹乐. 基于 DSP 的军用无中心交换通信系统的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2008, 1(201): 7-9.
- [2] 赵媛. 一种基于软件无线电的无交换式数字通信系统[J]. 电声技术, 2002, 3(201): 59-61.
- [3] 胡广书. 数字信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 432-433.
- [4] Texas Instruments Corp. TMS320VC5501/5502/5503/5507/5509/5510 DSP Multichannel Buffered Serial Port (McBSP) Reference

Guide[M]. USA: Texas Instruments Corp, 2004: 91-103.

- [5] Analog Device. Texas Instruments Corp. AD7982 Data Sheet[M]. Norwood MA: Analog Device Inc, 2005.
- [6] Texas Instruments Corp. TMS320VC5509A Fixed-Point Digital Signal Processor Data Manual[M]. USA: Texas Instruments Corp, 2003: 111-125.
- [7] 汪春梅, 孙洪波. TMS320C55x DSP 原理与应用(第2版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 284-292.
- [8] Texas Instruments Corp. TMS320VC5503/5507/5509/5510 DSP Direct Memory Access (DMA) Controller Reference Guide[M]. USA: Texas Instruments Corp, 2004: 11-61.

#### 作者简介

龚树超 男, (1983-), 北京邮电大学硕士研究生。主要研究方向: 软件无线电、实时数字信号处理和 DSP 实现。

(上接第 12 页)

基于 SDH/SONET 的 RPR 是从传统 SDH 平台向数据和语音混合平台扩展, 在 SDH 的传输管道上根据实际应用需要设定传输语音的 VC 通道和传输数据业务的 RPR 通道。传输语音的 VC 通道继承所有 SDH 的特性, 其保护倒换遵从标准的 SDH 环保护方式, 从而保证了语音传输的 QoS; 而着眼于数据业务传输的 RPR 通道则遵循 RPR 的保护倒换方式, 并在 RPR 环上节点的业务接入点进行公平控制, 拥塞处理, 以保证数据业务传输的 QoS, 同时, 在业务接入点还支持 VLAN 及 UNI/NNI 等相应功能, 以保证 LAN 向 MAN 的无缝扩展。

基于 WAN/LAN PHY 的 RPR 则是在纯粹的数据平台上构造传输网络, 这时该环上承载的所有业务均为数据业务, 不存在专为语音设置的 TDM 通道。而基于 WAN PHY 的 RPR 和基于 LAN PHY 的 RPR, 主要在于 WAN PHY 提供了简化的 SDH 帧结构, 这种简化的帧结构仅提供有关的 SDH 管理信息, 而不提供 SDH 所能提供的其他丰富信息和功能, 如保护倒换、时钟同步等。

从测量船各系统业务传输的信息类型来看, 主要有语音、数据、以太网以及视频几个方面, MSTP 系统不但要为测量船通信系统以外的测控系统、航海系统和气象系统提供以太网数据通道以及同步/异步数据通道, 同时, 作为通信系统的一部分, 还需要为通信系统内的其他分系统提供各种业务传输通道, 包括语音、数据通道(包括以太网数据、同步/异步数据以及 E1 等)以及视频图像的传输通道等; 另一方面, MSTP 系统作为船内生活电话交换的核心, 提供程控电话交换功能。显然, 基于 SDH 的 RPR 可以使语音业务和数据业务的传输各得其所, 既保证语音业务能以其固有的方式传输, 同时又使数据业务的传输不再完全拘泥于 SDH 传输方式的局限, 使传输通道的利用率大大提高, 并通过新的 MAC 层协

议将 LAN 延伸到 MAN/WAN, 将 LAN 的众多优点亦扩展到 MAN/WAN。相对于基于 WAN/LAN PHY 的 RPR 而言, 基于 SDH/SONET 的 RPR 的带宽利用率可能略低(通过采用 VCAT、LCAS 等下一代 SDH 的关键技术, 可进一步提高其带宽利用率), 但能保证语音业务传输的 QoS, 并与现有的网络设备和交换机直接对接, 因而更适于作为语音和数据混合传输的统一平台。基于 SDH/SONET 的 RPR 功能, 用户可根据需要, 指定环路的传输管道中传输 TDM 的通道容量和传输分组数据业务的通道容量。

## 2.4 应用实例

测量船视频监控系统包括视频前端设备、视频压缩编码处理设备以及 MSTP 系统提供的图像数据上传以及组播的以太网传输通道。视频业务数据流量大, 对网络带宽要求较高, 通过 RPR 技术的应用, 提高了传输质量, 改善了视频系统以往经常出现图像停顿和马赛克的状态。

## 3 结束语

RPR 是一种新型的网络结构和技术, 随着标准化工作的进一步开展, RPR 必将成为新一代以太网所采用的最佳技术之一。以 SDH 光传输网为基础的测量船 MSTP 系统在今后相当一段时间内将成为测量船通信基础设施, RPR 技术在其中的广泛应用将大大改善测量船综合信息系统的性能。✦

#### 参考文献

- [1] 黄峰. 弹性分组环技术[J]. 飞通光电子技术, 2001, 1(4): 223-226.
- [2] 方亮. 弹性分组环(RPR)协议简介[J]. 光电世界, 2001, 1(2): 25-28.
- [3] 朱栩. 面向城域网的新型弹性分组数据环技术[J]. 电信科学, 2001, 11(12): 12-16.

#### 作者简介

丁广男, (1972-), 中国卫星海上测控部硕士研究生。主要研究方向: 图像通信、计算机网络等。