

文章编号: 1000-6281(2000)01-0065-0068

数字扫描探针显微镜中的 DSP 技术

胡志强 胡志敏 李永丰* 孙洁林 胡 钧 李民乾

(中国科学院上海原子核研究所, * 上海大学, 上海 201800)

摘 要: 本文介绍了我们研制数字 SPM 仪器时在 DSP 芯片选型、SPM-DSP 插卡设计、开发工具、DSP 软件及其基本算法方面的考虑和解决方案,并简介一种采用德州仪器公司 TM S320C50 DSP 芯片设计的 SPM 仪器。该仪器已实现 STM 模式、接触 AFM 模式、非接触 AFM 模式,并具有和多种 SPM 头部接口的开放性结构。

关键词: DSP 技术; DSP 插卡; DSP 算法; 数据通讯

分类号: TN 911.72; TN 16 **文献标识码:** A

今天,我们已经全面地进入了数字化时代。作为微电子学发展的一个巨大成就,数字信号处理器(DSP)已经获得了非常广泛的应用。例如在图像和语音处理、雷达和声纳技术、数据通信、测量和控制、数字化仪器、高清晰度电视、数字音响、多媒体应用中,DSP 技术都起到了关键的作用^[1]。国外已把 DSP 技术用于数字化扫描探针显微镜(SPM)的研制,并商品化,取得了可观的效益。SPM 仪器的全数字化,使得在仪器易维护性、操作的自动化程度、功能实现、配置灵活性等方面有着明显的优势。DSP 是一种专用于实时数字处理的芯片,随着其应用日益普及,性能不断提高,价格持续下降,必将成为发展 SPM 仪器数字化技术的方向。虽然国内有些单位致力于数字化 SPM 仪器的研制,但由于目前介绍 DSP 方面的资料不多、技术难度较大、开发设备昂贵,因此采用 DSP 技术研制数字化 SPM 仪器在国内尚属空白。

我们多年从事 SPM 仪器的研制工作。在过去研制 PC 机控制的 STM 仪器中,解决了 XY 扫描、Z 向模拟反馈、数据采集、步进马达驱进控制电子学中的信噪比问题,用 $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ 压电陶瓷扫描器获得过清晰的 HOPG 原子图像。本文报道最近我们研制开放性数字 SPM 仪器时在引入 DSP 技术方面所做的工作。

关键问题及解决

DSP-SPM 电子学系统由 PC 机、SPM-DSP 插卡、通讯接口卡、控制机箱组成。图 1 以 STM 为例,给出电子学系统的结构方框图。

1. DSP 芯片的选型

选型的基础是对 SPM 仪器作全面分析,如完成哪些功能、控制流程及时序、扫描方式、反馈模型及实时性要求等等。国内较普及的 DSP 型号是 Texas Instruments 的 TM S320CXX 系列。其中的浮点型系列,价格昂贵;TM S320C5X 是最新的第三代 16 位定点型 DSP 芯片,性能卓越,还兼有微控制器的特点^[2],非常适合用于 SPM 仪器的数字化设计。

1) 硬件

市售的 PC 机 DSP 插卡虽然功能齐全,自带开发功能,但价格高,存储器管理及握手方式对研制 SPM 仪器来说不够理想,与控制机箱接口也不方便,所以我们研制了具有针对性和自我开发能力的 SPM-DSP 插卡。选用的 DSP 芯卡是主频为 57MHz 的 16 位定点型 TM S320C50,可以

直接插入 PC 机的 ISA 总线插槽中,与 PC 机构成一个主从结构的并行计算机系统^[3]。该卡使用双口 RAM 作为共享存贮器,以实现 DSP 与 PC 机间的高速通讯。我们把它作为整个 DSP-SPM 仪器硬件的控制中心,如图 2 所示。TM S320C50 片内有一个 16 位定时器,2 个多模式串行通讯口,4 条外部中断线^[4]。定时器输出能启动 2 片转换时间为 $2\mu\text{s}$ 的 14-Bit ADC。可屏蔽的定时中断服务程序安装着 XY 扫描算法和扫描器的非线性校正算法,可启动 6 个 16-Bit DAC 产生扫描信号。2 条外部中断线分别连接着 2 片 ADC 的转换完信号,这样中断服务程序可以实时处理采集的外部检测信号。1 个串行通讯口连接着 1 个 32-Bit DDS 数字合成器,它可以发生精度很高的从 0 到 10MHz 的正弦波信号。插卡上装有 64K 字的程序存贮器和 64K 字的数据存贮器,能够满足 SPM 新功能继续扩充的需要。通讯接口卡起着 DSP 管理外部设备的中介作用,它保证 DSP 与控制机箱间高达 4M bps 的通讯速率。

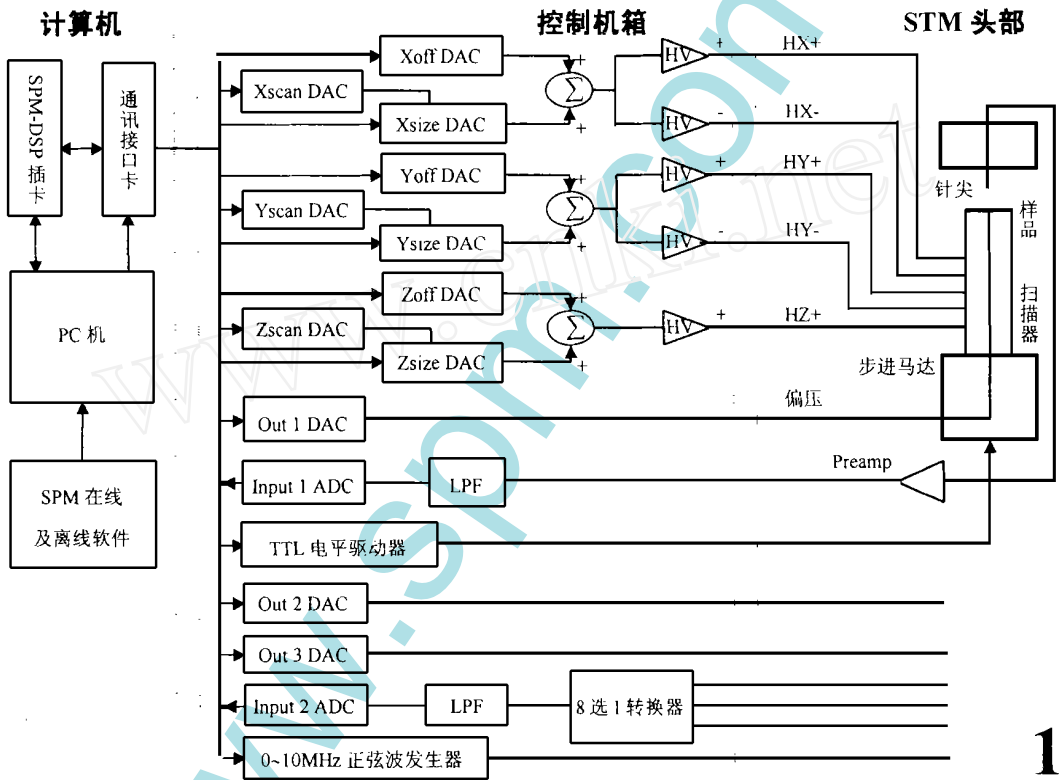


图 1 DSP-SPM 电子学系统方框图。

Fig 1 Block diagram of DSP-SPM electronics system.

2. DSP 开发工具

TM S320C5X 实时开发系统非常贵,我们购买了一种称为 DSK 的简单开发工具,用它来测试编好的 DSP 程序。同时,在它的的编译软件包的基础上研制出 SPM-DSP 插卡开发软件包。该软件包中有一系列的软件将调试好 DSP 汇编源程序编译成 SPM-DSP 插卡可以接收的文件。这些 DSP 程序文件中有一个核心程序,我们称之为 SPM 系统管理员。它需要最先被 PC 机加载。它负责着仪器硬件初始化、测试、机箱密码检测等任务,并管理着其它 DSP 应用程序的加载、执行、在线调试、存贮空间分配以及与 PC 机间的消息传送。

3. DSP 软件

DSP 执行着整个 SPM 系统硬件的具体操作, PC 机按照我们制订的一个消息协议来控制整个 SPM 仪器的工作并接收图像数据。因此 在线软件编程者勿需掌握太多的硬件知识就可以胜任。DSP 软件结构如图 3 所示。

SPM 系统管理员的 DSP 文件由 PC 机装入双口 RAM 指定地址, 然后清除 DSP 复位信号。DSP 运行后, SPM 系统管理员获得控制权, 进入监控状态。这称为 BOOT DSP 过程。

我们将 SPM 仪器的不同硬件操作编上代号, 制订成消息手册。PC 机根据编号协议来控制仪器工作。这些编上号码的功能操作实际上是一个个不同的 DSP 程序模块。它们分成三种。一种为任务操作。例如, 开反馈, 开反馈操作将使 DSP 启动定时器, 完成: 采样 反馈计算 Zscan DAC 转换 再采样.....这类操作具有多任务的性质。第二种为模式操作。例如, 开始扫描获取图像数据, I-V 曲线, F-Z 曲线等等。这类操作将使 DSP 从监控状态进入各种不同的 SPM 工作模式, 并向 PC 机发送数据。第三种是参数操作。例如, 改变反馈参数, 改变隧道电流设置点, 关反馈, 改变扫描角度, 改变 DAC 输出电压, 返回监控状态等等。这类操作花销时间很短, 因此监控状态和模式操作状态下, DSP 都能响应 PC 机提出的参数操作请求。

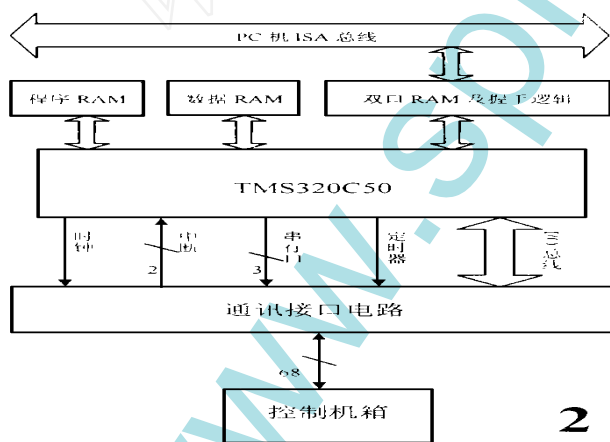


图 3 SPM-DSP 软件流程简图。

Fig. 3 A simple flow diagram of SPM-DSP software.

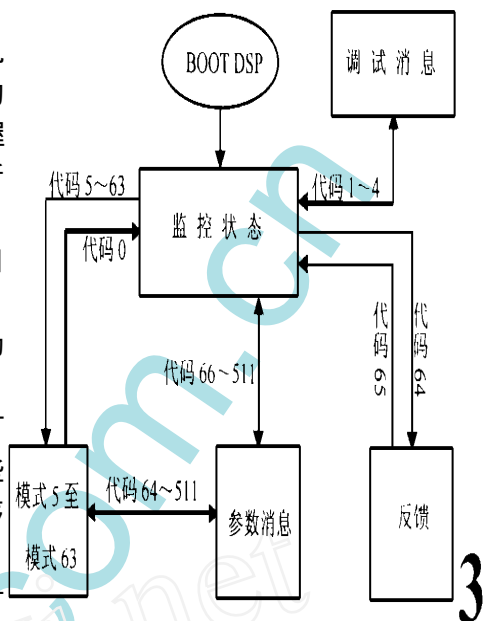


图 2 SPM-DSP 插卡结构框图。

Fig. 2 Block diagram of SPM-DSP card

4. DSP 算法

SPM 中最基本的 DSP 算法是 XY 扫描算法和反馈算法。我们根据 X 向、Y 向都保持匀速运动, 实时改变扫描角度时调整扫描范围的模型设计了一种 XY 扫描算法。数字反馈算法, 目前已多有文献报道。我们采用的是一种增量式 PI 调式算法^[5], 采样频率为 62.5kHz。

构成数字 SPM 仪器

我们使用上述电子学系统和我们自制的 STM 头部及本原 AFM 头部构成一台数字 SPM 仪器, 实现了 STM 恒流恒高模式、I-V 曲线、I-Z 曲线、接触 AFM 模式、F-Z 曲线、非接触 AFM 模式的功能。该仪器最快扫描速率为 62500 点/秒, 在实时扫描过程中可同时以 244 线/秒的频率获取和处理 6 幅 256 × 256 点阵的图像数据。目前已获得了 STM 恒流和恒高模式下的 HOPG 原子像, 以及 1μm 光栅的 6μm × 6μm AFM 图像。

参 考 文 献

- [1] 刘松强 数字信号处理系统及其应用 北京: 清华大学出版社, 1996. 前言
- [2] Bob Fine and Gerald McGuire 选用数字信号处理器时的考虑 ANALOG DEVICE, APPLICATION NOTE, AN-233, 17.
- [3] 吉根林等 用 TM S320C25 与 PC 机构成的并行计算机系统 计算机应用研究, 1995, (3) 73
- [4] TM S320C5 x User's Guide. TEXAS INSTRUMENTS, 1993, 2-3
- [5] 施仁等 自动化仪表与过程控制 北京: 电子工业出版社, 1994 122-130

DSP technology in scanning probe microscope

HU Zhi-qiang HU Zhimin LI Yong-feng* SUN Jie-lin HU Jun LIM in-qian

(Institute of Nuclear Research, Academia Sinica, Shanghai 201800, China)

(*University of Shanghai, Shanghai 201800, China)

Abstract: DSP technology in our digital scanning probe microscope (SPM) was described in this paper, including DSP selection, design of SPM-DSP card, development support tool, DSP software and basic algorithm. Our digital SPM with TM S320C50 inside can work in STM mode, contact AFM mode and non-contact AFM mode

Keywords: DSP technology; DSP card; DSP arithmetic; data communication