

ARM 处理器在 AFM 纳米操作系统中的应用

Application of ARM Processor in the AFM Nanomanipulation System

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所;2. 北京中国科学院研究生院)张少太^{1,2} 董再励¹ 缪磊¹

Zhang, Shaotai Dong, Zaili Miao, Lei

摘要: 文章介绍了在原子力显微镜 (AFM) 纳米操作系统中 ARM 处理器的应用及开发, 在此基础上搭建了具有 3D 力反馈的纳米操作系统。结合 AFM 纳米操作系统的实时性问题, 进行了 ARM 开发板的系统软件架构和 PSD(四象限光电检测器)信号的 PID 控制结果的分析, 使纳米操作系统在实时性和成像的质量等方面都得到相应改进。

关键词: AFM; 纳米操作系统; ARM; PID

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Abstract: The application and development of ARM processor in AFM nanomanipulation system are introduced in the paper and a nanomanipulation system with real-time 3D forces feedback is designed. Combining with the problem of real-time in the system, the software structure and the PID control results of PSD signal in the ARM board are analyzed, the real-time and image quality in the system are enhanced.

Keywords: AFM; Nanomanipulation; ARM; PID

将 ARM 处理器引入到 AFM 纳米操作系统中是一个非常好的想法, 传统的处理器 (例如 DSP) 不仅处理速度没有绝对优势, 而且价格昂贵, 软件开发复杂。ARM 处理器是世界上最流行的嵌入式处理器, 它具有小体积、低功耗、低成本、高性能、16/32 位双指令集、全球众多的合作伙伴的特点。在开发中, ARM 处理器引入新颖的称为 "Thumb" 的压缩指令格式, 降低了小型系统的成本和电源消耗, 具有先进的软件开发和调试环境, 广泛应用于个人通信等嵌入式领域。将 ARM 处理器应用到 AFM 纳米操作系统中不仅提高了处理速度, 而且大大节省了开发成本。

1 AFM 纳米操作系统概述

该系统由 AFM 本体 (纳米操作执行器); 信息处理单元 (用于操作、传感器反馈信息的传输、转换和处理); 图像仿真界面 (操作场景图形仿真, 具有力感的探针运动操作机械装置) 等构成, 系统结构示意图如图 1 所示。

该系统可以完成如下功能: (1) 作用力的生成与感知, 即实时采集 AFM 系统提供的操作状态传感器信号, 将其在力的分解模型作用下生成相应的电信号, 经 Haptic 机电系统转换生成 XYZ 三个方向上的机械力, 这种力作用在 Haptic 的操作手柄上, 可以使操作员感受到各向操作力的存在和大小; (2) 纳米操作环境可视化图形仿真, 由信息处理单元根据 AFM 扫描图像和对象的动力学模型生成, 并根据操作动作

信号实时更新, 为操作者提供可视化的实时操作图形界面, 以辅助操作者进行操作, 提高操作效率和操作精度; (3) 交互式探针动作控制, 操作员对操作手柄的操作 (推、拉、刻划、敲击等) 动作, 经 Haptic 装置的机电信号转换, 在线传递到 AFM 控制探针产生相应的三维运动。

2 ARM 开发板

实验系统中用的开发板是在合肥华恒科技公司定制的 HHARM9-EDU 开发板, 它是一款基于三星 S3C2410 的最小系统开发板, 开放式设计, 集成度高、尺寸小、可扩展性强。

HHARM9-EDU 主板包含一下部件:

CPU: Samsung Electronics 的 S3C2410 处理器, 工作频率为 200MHz

NOR FLASH: 16MB (8M × 16 位)

SDRAM: 64MB (2 × 16M × 16 位)

4 路 A/D, 5 路 D/A 通道

复位电路

UART: RS-232C 串行接口

电源: 输入 7.5V

USB: 一路 DEVICE, 一路 HOST

32 个 I/O

DM9000 以太网控制器

20 针 JTAG 接口

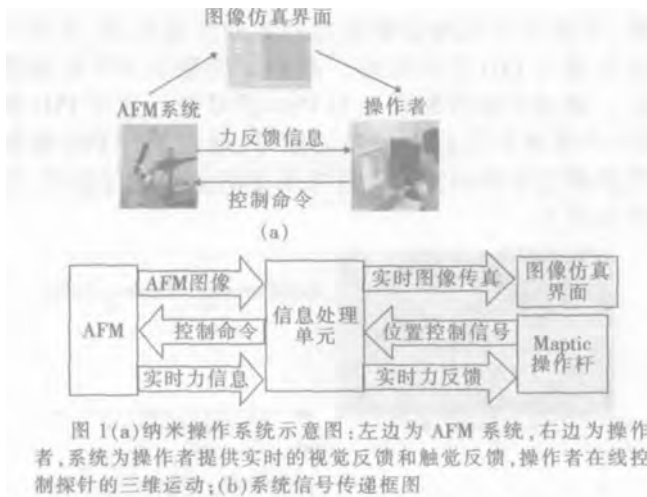
系统总线扩展: 地址总线、数据总线、控制总线、IIC 总线、IIS 总线

由 HHARM9-EDU 开发板上的功能部件可以看

张少太: 硕士研究生

基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2002AA422210)

出, S3C2410 处理器内嵌 ARM920T 核, 它带有全性能的存储管理单元(MMU), 支持嵌入式 Linux 的操作系统运行, 部件驱动由厂家提供, 同时可根据用户需求开发特定软件与设备驱动程序, 大大减少了软件上的开发难度。并且开发板有纳米操作系统用来进行数据采集、数据处理和网络通信所需要的功能接口。因此, HHARM9- EDU 开发板符合 AFM 纳米操作实验系统的要求。



3 系统的工作流程及实时性分析

本实验系统采用的 AFM 本体是由中科院本原仪器公式生产的 CSPM2000, 在此基础上, 搭建的系统的实物图如图 2 所示, 当利用该系统进行纳米操作时, 系统工作流程如下: 首先, AFM 对样品进行扫描, 在计算机 6 中成像, 提供作业环境和对象的基本数据, 生成操作环境仿真图形; 操作者通过观察操作环境和对象状态, 使用 Haptic 操作手柄进行操作, 输出位移信号; 位移信号从 Haptic 装置由计算机 8 解释并通过以太网 7 传输给 ARM 处理器 1; ARM 处理器 1 将由该位移信号的数字量转化为 AFM 位置控制量, 该控制量输入到控制柜 2 的压电陶瓷 (PZT) 驱动器后加到压电陶瓷上, 控制陶瓷管的微运动; 由于陶瓷管的运动, 使探针与被操作样品间的作用力发生改变; 光电检测器检测到探针受力产生的形变检测信号, 将该信息通过控制柜后, 以模拟信号通过 A/D 转换输入到 ARM 处理器 1; ARM 处理器 1 将该形变检测信号通过以太网 7 传输给计算机 8; 在计算机 8 内, 根据建立的悬臂梁受力变形模型将其解释为受力信号, 计算出应输出到 Haptic 电信号的大小, 同时根据建立的被操作对象的动力学模型, 计算出被操作物体的运动姿态, 更新监视器 10 中的操作场景仿真界面; Haptic 装置将计算机输入的电信号转化为机械力, 输出到操作杆, 反馈给操作者。操作者根据操作场景图形仿真界面的视觉显示, 结合 Haptic 装置输出的力信息, 进行相应的纳米操作, 同时规划出下一步的操作策略, 然后回到步骤 1。如此反复, 直到纳米操作顺利完成。上述操作的

信号传递与生成均具有实时性, 因此人的操作在感觉上是与动作同步的, 可实现具有实时力感与可视图形的人机交互式纳米操作。从控制角度来讲, 将传统的规划-操作-扫描验证-规划的开环操作流程变为实时的闭环操作流程。因为要求对样品进行扫描成像、信号传递与生成均具有实时性, 这就要求基于 ARM 的嵌入式操作系统具有一定的实时性, 才能保证信号及时被处理并反馈回去, 特别是扫描成像时要求实时闭环, 因为扫描速度很快, 样品形貌不定, 必须要求实时反馈样品和扫描探针的距离, 避免损坏探针。使用 Haptic 操作手柄进行操作时, 信号传递与生成也均要求实时性处理, 由于操作时的速度不是很快, 对实时性的要求略差一些, 达到毫秒级就可以。

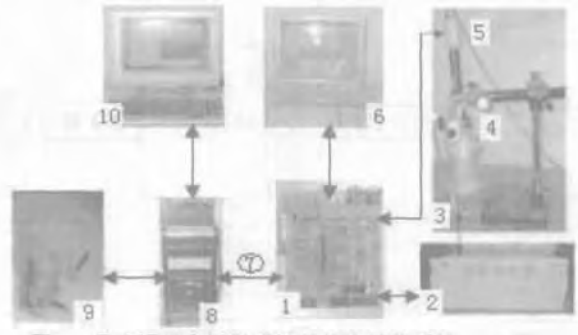


图 2 具有视觉和触觉反馈的纳米操作系统, 1. ARM 控制板; 2.SPM 控制柜; 3.AFM 探头; 4.光学显微镜; 5.CCD 照相机; 6.成像计算机; 7.以太网; 8.计算机; 9.触觉反馈装置; 10.场景仿真界面

Windows 操作系统没有实时性可言, 因此需要一种实时的嵌入式操作系统, 在嵌入式应用中使用实时操作系统已成为当前嵌入式应用的一个热点、一种时尚。其中一些著名的公司更是选中了像 Linux, VxWorks, UC/OS-II 操作系统作为开发多任务实时控制系统的工具。而在国内, 虽嵌入式应用开发很广, 但该领域几乎还是空白。

本文正是在 AFM 纳米操作系统中开展 ARM 处理器的嵌入式应用, 综合比较多种实时操作系统我们最终选定了免费的、源代码开放的、功能齐全的实时操作系统 RTLinux。RTLinux 操作系统的最突出的优点--实时性, 所有具有实时性要求的任务都必须设计成中断服务程序或实时线程, 但其操作必须是简单的, 不能有任何可能引起资源竞争的操作, 对资源的占有方式只能是独占, 而且能用的资源极其有限, 几乎只有 CPU 和内存可以使用。对于具有实时力感与可视图形的人机交互式纳米操作, RTLinux 操作系统完全可以达到系统实时性的要求。事实证明, 采用 RTLinux 作为嵌入式操作系统并充分利用 GNU 提供的免费开发工具包、降低了嵌入式系统开发的经济门槛, 使更多的人能够掌握相关技术, 代表了嵌入式系统开发的一种新方向。

4 软件设计

4.1 软件架构分析

在实验系统中,可分成三个部分:力检测部分、位置检测部分、反馈系统。ARM 处理器主要应用在实验系统中的位置检测和反馈部分中,当针尖与样品之间有了交互作用之后,会使得悬臂摆动,所以当激光照射在微悬臂的末端时,其反射光的位置也会因为悬臂摆动而有所改变,这就造成偏移量的产生。在整个系统中是依靠激光光斑位置检测器将偏移量记录下并转换成电的信号,将这个信号进行放大,然后经过 AD 转换进入 ARM 处理器中进行进一步处理(包括滤波、PID 控制等)。ARM 处理器通过串口接收上位机发出的指令进行扫描成像,并通过以太网和操作部分进行通信。ARM 处理器对 PSD 的信号进行处理后,信号反馈到压电陶瓷驱动器上进行反馈控制,系统示意图如图 3 所示。

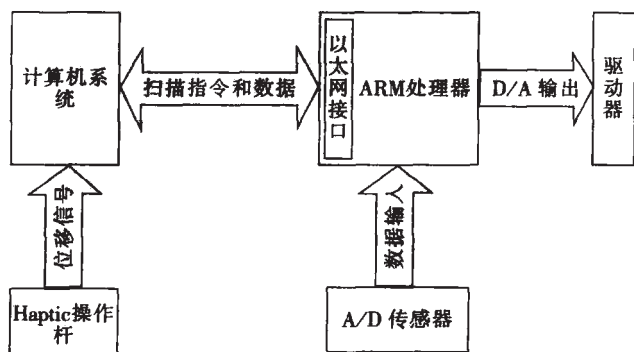


图 3 实验系统结构示意图

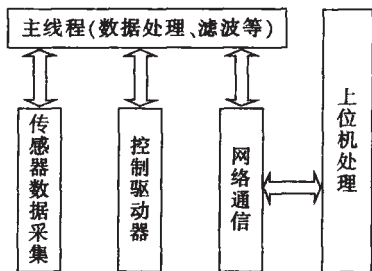


图 4 系统的软件架构

总的来说,在 ARM 处理器中要实现 PSD 信号的处理,压电陶瓷驱动器的 Z 向反馈控制,和上位机通信等主要功能,这是整个 ARM 系统主要的工作部分。针对 ARM 中完成的任务,在软件编程方面,要考虑到系统压电陶瓷驱动器 Z 向反馈控制的实时性和对 PSD 信号处理的 PID 控制算法,以保证反馈到压电陶瓷驱动器上的信号满足系统的要求。为了保证系统的实时性达到扫描成像和操作的要求,软件方面采用多线程技术。整个系统的软件架构如图 4 所示。

程序采用了四个线程,有以下几个原因:

a. 网络通信的接收程序必须要占用一个线程,我们采用阻塞模式的通信方式,必须有一个线程等待数据的到来,来接收数据。

b. 传感器数据采集线程是专门负责采集 PSD 信号,ARM 开发板上有 4 路 AD 通道,每一路都由一颗独立的 AD7663 驱动,其中 2 路用缓存(FIFO, 4096×16

位,在半满或全满时给出一个标志信号),2 路不用缓存。

c. 采集的 PSD 信号经过 AD 转换后,必须经过 PID 控制算法然后经过 DA 转换后去控制驱动器。这一部分我们也采用一个独立的线程去完成。

4.2 PSD 信号经 PID 控制算法前后的结果比较

系统中 PSD 信号经过 AD 通道采集进来以后,存在噪声等干扰因素,为了使信号能够达到理想的效果,实现对压电陶瓷驱动器的 Z 向反馈控制,必须对信号进行 PID 控制处理,我们采用数字 PID 控制算法,通过在软件编程上对 PSD 信号进行数字 PID 控制,将系统扫描程序得到的信号、通过软件 PID 控制得到的信号和示波器上直接采集的信号进行比较,结果如图 5:

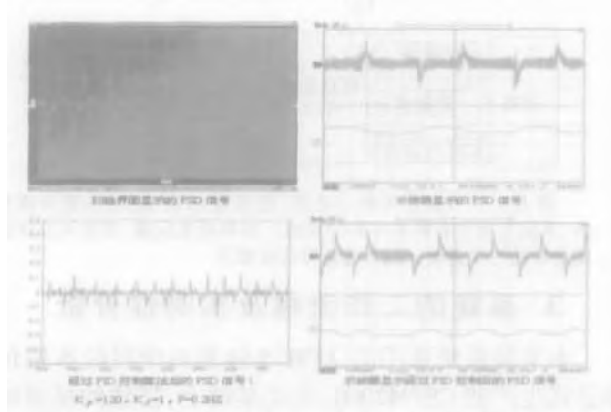


图 5 PSD 信号经 PID 控制算法前后的比较结果

通过实验结果可以看出,系统扫描界面得到的 PSD 信号是经过图像处理显示的,虽然看起来没有热噪声等干扰因素,但通过示波器显示的 PSD 信号仍然有很大的热噪声。经过软件方面 PID 控制算法以后得到的信号的热噪声以及相关的干扰因素减弱,并且信号的好坏有 PID 的控制参数决定,我们在调试的时候,选择的 PID 的控制参数为 $K_P=120, K_I=1, F=0.2\text{HZ}$,根据不同的实验环境可以选择不同的控制参数。

5 结束语

本文讨论了 ARM 处理器在 AFM 纳米操作系统中的应用,描述了 HHARM9-EDU 开发板及搭建的实验系统结构,分析了系统软件方面的架构以及对 PSD 信号采用的 PID 控制算法前后的结果进行比较,实验证明 ARM 处理器相比于其它的处理器不仅处理速度上没有劣势,而且实时性提高很多,应用到 AFM 纳米操作系统中具有很好的发展前景。

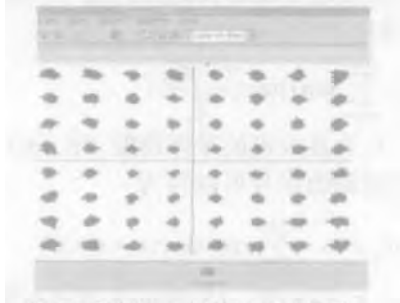
参考文献:

[1]Xiao J T, Liu L Q, Jiao N D, et al. 3D Nano Forces Sensing for An AFM Based Nanomanipulator. In: International conference on information acquisition, 2004 Hefei, 208~212.
[2]刘艳霞,张凡. 基于 ARM 的 100Mbit/s 以太网在数控系统中的应用[J]微计算机信息,2005,2:90-91(转 216 页)

4 硬件仿真

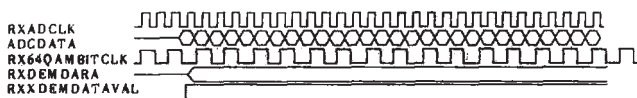


图三 时钟恢复模块的输入信号



图四 时钟恢复模块的输出信号

为了进一步验证时钟恢复算法在实际环境下的性能,我们开发了基于FPGA的64QAM接收系统。FPGA采用Xilinx公司XC6V1600E-8BG560C。中频信号的采样率是40.96MHz,经过数字下变频后为基带信号,然后通过抽取和匹配滤波器,信号速率降为5.12MHz,正好为符号速率的两倍。在实际测试中我们可以通过逻辑分析仪上观测到,当时钟误差超过一个采样周期时,算法会通知时钟模块,自动插入或屏蔽一个时钟周期,经过5000个符号传输时间,信号可以稳定收敛。测试表明通过时钟恢复算法后不仅信号恢复到理想的采样点附近,而且通过调整时钟频率达到了收、发端的符号速率匹配。经过测试可知,当系统工作在25dB时,接收机的同步跟踪频率可以达到2.497MHz到2.619MHz之间。



图五 64QAM解调器信号的时序图

5 结论

本文给出了一种适用于64QAM接收系统的改进的异步时钟恢复算法。该算法主要是通过提取接收信号的时钟误差,用插值的方法把信号恢复到理想的采样点上,同时根据计算出的时钟偏差,算法能给出时钟控制信号,从而自动插入或屏蔽时钟信号,实现收、发同步。经过FPGA验证表明接收机经过改进的异步时钟恢复不仅跟踪上发射信号,提高了接收机的性能,降低了系统的误码率,并且整个算法的硬件代价并不是很高。

参考文献:

[1]Dongmin Lin, "A Modified Gardner Detector for Symbol Timing Recovery of M-PSK Signals," IEEE Trans.Commu., VOL.52, NO10, pp.1643-1647, Oct 2004

[2]王长利,全厚德. 基于数据库的通信设备自动测试系统设计[J] 微计算机信息,2005,1:69-71

[3]F.M Gardner, "Interpolation in digital modems - part I: fundamentals," IEEE Trans.Commu., Vol.41, NO3, pp.501-507, March 1993

[4]M.P.Fitz and R.J.Cramer, "A Performance analysis of a digital PLL based MPSK demodulator," IEEE Trans.Commu.,Vol.43, pp. 1192-1202, Feb 1995

作者简介:宋雪桦(1971-)女,汉族,职称:讲师,学历:硕士,研究方向为数字信号处理和通信理论与技术, E-mail: clocktree@hotmail.com.

Author brief introduction: Song xuehua: female, the Han nationality, she received the B.S. degree in Physics from Nanjing Normal University in 1993 and the M.S. degree in electrical engineering from Shanghai Jiaotong University in 2001. Now she is a lecturer in Jiangsu University. Her interests include digital signal processing and theory and application of communication.

(212013 江苏镇江江苏大学计算机与通信工程学院) 宋雪桦

(212013 江苏镇江江苏大学理学院)潘波 (College of Computer Science and Communication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, CHINA) Song, Xuehua

(Faculty of Science, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, CHINA) Pan, Bo

通讯地址

(212001 江苏省镇江市白莲巷13号401) 宋雪桦

(投稿日期:2005.9.21) (修稿日期:2005.9.29)

(接86页)作者简介:张少太(1979—),男,硕士研究生,山东龙口人,主要研究方向是嵌入式系统和微米操作。E-mail: stzhang@sia.cn;董再励(1952—),男,副研究员,研究方向为机器人学、模式识别、传感器系统。

Author brief introduction: Zhang, Shaotai (1979—), male, Shandong, master, Study field: embedded system, nanomanipulation. Dong, Zaili (1952—), male, vice-professor, Study field: robotics, pattern recognition, sensor.

(110016 沈阳中国科学院沈阳自动化研究所机器人重点实验室) 张少太 董再励 缪磊

(100039 北京中国科学院研究生院) 张少太 (Robotics Laboratory, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016) Zhang, Shaotai Dong, Zaili Miao, Lei

(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039) Zhang, Shaotai

通讯地址:(110016 沈阳市东陵区南塔街114号自动化研究所一室) 张少太

(投稿日期:2005.8.26) (修稿日期:2005.9.6)