

# 具有超媒体人机接口的纳米操作系统<sup>\*</sup>

刘连庆<sup>1,2</sup> 焦念东<sup>1</sup> 田孝军<sup>1</sup> 董再励<sup>1</sup><sup>1</sup>(中国科学院沈阳自动化研究所机器人重点实验室 沈阳 110016)<sup>2</sup>(中国科学院研究生院 北京 100039)

**摘要** 当利用AFM作为纳米操作工具时,由于其缺乏实时的传感器信息反馈,操作完全在盲目的状态下进行,而使纳米操作难于进行。超媒体接口可以解决这个问题,在纳米操作过程中,超媒体接口不但可以为操作者提供实时动态更新的视觉反馈,还可以为操作者提供实时的三维力反馈,与此同时操作者还可以通过该接口直接控制探针的三维运动,实现人机交互式的纳米操作。纳米刻画以及多壁碳纳米管的推动实验验证了系统的效率和有效性。

**关键词** 超媒体 纳米操作 人机交互 力反馈

## A Nanomanipulation System with Super Media User Interface

Liu Lianqing<sup>1,2</sup> Jiao Niandong<sup>1</sup> Tian Xiaojun<sup>1</sup> Dong Zaili<sup>1</sup><sup>1</sup>(Robotics Laboratory, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)<sup>2</sup>(Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract** When using AFM as a nanomanipulation tool, its lack of real-time sensory feedback has hindered its wide application. Supermedia user interface is developed aimed to overcome this problem. The supermedia interface can not only provide the operator with real-time visual feedback of the scanned image, but also let the operator feel the 3-D real-time operation force. Furthermore, the operator can directly control the tip 3-D motion of AFM through a joystick. The nano-lithography and MWCNTs pushing experiments demonstrate the efficiency and effectiveness of the system.

**Key words** Supermedia Nanomanipulation Human computer interaction Force feedback

## 1 引言

原子力显微镜<sup>[1]</sup>(AFM, atomic force microscope)的出现让人们视野进入到纳观尺度下,事实证明,AFM除作为纳米尺度下的观测工具外,还可以通过纳米操作来改变物体的表面形貌,在纳米尺度下对物体进行组装,制造纳米传感器和纳米机械装置<sup>[2]</sup>,但是当AFM用于纳米操作的时候,由于缺乏实时的传感器信息反馈,操作者必须在盲目的状态下进行操作,每一步的操作结果都要用重新扫描成像来验证,而每次扫描成像都要用好几分钟的时间,显然这种扫描—规划—操作—扫描的操作方式非常耗费时间,这大大阻碍了

基于AFM纳米操作的广泛应用。

为了克服这个问题,在AFM的基础上,一个具有超媒体人机接口的纳米操作系统被建立起来,在纳米操作过程中,该系统不但可以为操作者提供实时的视觉/触觉反馈,操作者还可以通过超媒体接口在线控制探针的三维运动,因而利用该系统可实现具有实时力感与可视图形的人机交互式纳米操作,这使得基于AFM的纳米操作变得方便可行,成功率高。本文主要介绍系统构成原理,并用实验来证明系统的先进性。

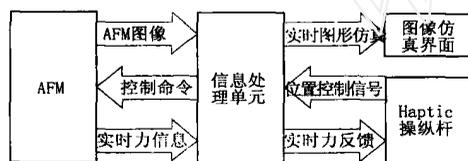
## 2 系统构成

超媒体人机接口除了包括传统多媒体接口的图

\* 国家863计划(2002AA422210和2003AA404070)资助项目。

像、声音、文字信息外,还包括传递给操作者的力反馈信息。力反馈信息在纳米操作中非常重要,它是探针与被操作物体间相互作用力的一种真实反映,通过反馈给操作者,让操作者得到纳米尺度下真实操作场景的信息。

整个系统由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);超媒体人机交互接口(操作场景图形仿真,具有力感觉的探针运动操作机械装置)等构成,图1为系统框图。



右向箭头代表超媒体接口提供给操作者的信息

左向箭头代表操作者通过该接口传递给探针的执行命令

图1 系统结构框图

### 3 超媒体接口实现

超媒体接口为操作者提供实时力反馈和视觉反馈,很多研究者对基于AFM 纳米操作的力反馈信息的获取作了研究,我们也发展了一套自己的办法来计算3D 纳米力,其具体办法可以参考文献[3]。

而视觉反馈比较具有针对性,因为视觉反馈依赖于被操作物体的动力学模型,因而针对不同的操作对象需要建立不同的动力学模型,本次实验我们操作的对象是多壁碳纳米管,可以借鉴管式物体的动力学建模,对于管式被操作物体的详细分析参考文献[4]。

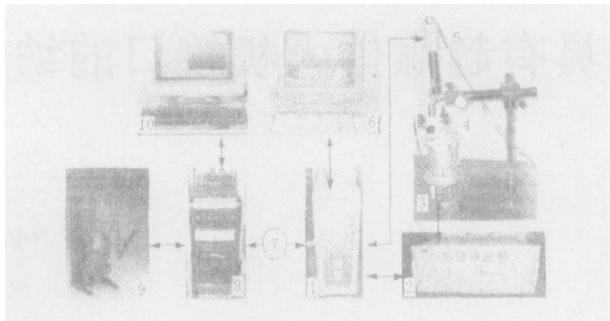
### 4 实验测试和验证

为了验证上述理论的正确与否,以及该系统进行纳米操作的先进性,进行了纳米刻画与多壁碳纳米管(MWCNT, multi wall carbon nano tube)的推动实验。

#### 4.1 系统组成

本实验采用的AFM 本体是由中科院本原仪器公司生产的CSPM 2000,该AFM 在X-Y 上的最大扫描范围是 $50\mu\text{m}$ ,Z 向最大伸缩范围是 $5\mu\text{m}$ ,触觉游戏杆采用Phantom™ (Sensable Co., USA)系列3D Desktop 操作杆,它具有6个自由度输入,在3个自由度方向上具

有力反馈功能,本实验系统的实物构建图如图2所示。



1 SPM 控制计算机 2 SPM 控制柜 3 AFM 探头 4 光学显微镜 5 CCD 照相机 6 成像监视器 7 以太网 8 第二台计算机 9 触觉反馈装置 10 场景仿真界面

图2 具有视觉和触觉反馈的纳米操作系统

在该系统中,探针—悬臂梁的变形被AFM 本体探头上的PSD 检测,然后进入到控制AFM 计算机1的A/D 转换卡中,转换为数字信号,通过以太网7 传输到与Phantom 连接的计算机8 中,并根据探针—悬臂梁的受力模型计算出探针受到的3D 纳米力,放大合适的倍数后通过Phantom 游戏杆9 反馈给操作者,该游戏杆还用于接收操作者对探针的控制命令,并通过以太网7 传递给AFM 控制计算机,控制扫描器的运动。光学显微镜和CCD 用于调节激光的位置以及粗略寻找进行纳米操作的区域。

#### 4.2 纳米刻画实验

本实验利用Mickom asch 公司的NSC21 型探针,该探针尖端半径约为 $10\text{nm}$ ,锥形角小于 $30^\circ$ ;针尖长度约为 $20\mu\text{m}$ ,刻画区域为 $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ ,刻画了9 笔竖线和字母SIA,实验结果如图3。

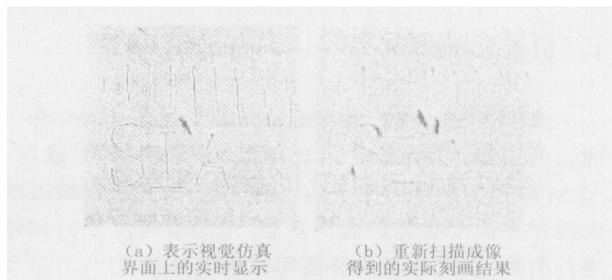


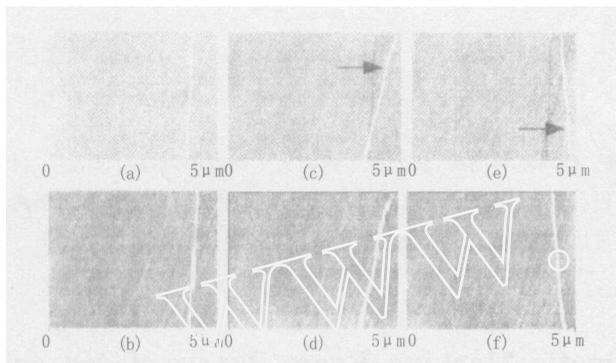
图3

图3(a)上的笔画都是实时显示在仿真界面上,提供给操作者作为视觉反馈。为了验证系统的有效性,我们由短到长刻画了9 笔竖道,然后又书写了SIA 三个字母,当所有刻画动作完成后,我们用AFM 重新扫描一副图像来验证界面实时显示和实际刻画结果是否一致,从图3(b)来看,界面的实时显示与实际刻画效果吻

合较好,验证了系统对于纳米刻画的有效性。

### 4.3 推动多壁碳纳米管

对直径约为 $100\text{nm}$ ,长度约为 $5\mu\text{m}$ 的MWCNT用超声分散后滴于聚氨酯表面,进行推动实验,如图4所示。



(a) (c) (e) 视觉反馈界面的实时显示图像

(b) (d) (f) AFM 扫描得到的图像

图4

图4(a)表明的是直径约为 $100\text{nm}$ ,长度为 $5\mu\text{m}$ 碳纳米管显示在图形仿真界面中,图4(c)显示的是经过一次推动后,图形仿真界面实时显示的推动结果,图4(d)是重新扫描成像得到的实际推动结果;按Z字形的推动策略我们进行第二次推动,推动点如图所示,图4(e)和图4(f)分别表明图形仿真界面实时显示的推动结果和重新扫描成像得到的实际推动结果。可以看到图形仿真界面显示与实际扫描得到推动结果一致。

需要说明的是我们可以把两次推动合并起来完成,而不需要重新扫描成像,这里扫描成像的目的就是为了验证界面实时显示的结果和实际操作的结果是否一致,从实验结果来看,界面的实时显示和实际的推动结果几乎完全一致。这表明利用具有超媒体人机接口的纳米操作系统,可以对纳米管/线进行有效的操作。

## 5 结 论

实验结果证明,基于AFM的具有超媒体人机接口的纳米操作系统可以有效地进行纳米操作,避免了利用AFM进行操作缺乏实时传感器信息的缺点;该系统另外一个优点就是在实时视觉/触觉反馈的同时,操作者可以在线控制探针的三维运动,这样,操作者可以根据超媒体接口提供的反馈信息,决定下一步的操作策略,在线控制探针的三维运动,这样人脑作为控制器就加入到操作系统中来,使传统的开环操作变成可以进行实时人机交互的闭环操作,很多步的纳米操作可以合并在一起完成,而不需要每操作一步就进行重新扫描成像来验证,大大提高了纳米操作的效率和有效性。纳米操作的最终目标是操作纳米管/线来制造纳米传感器和纳米机械装置,在具有超媒体人机接口的纳米操作系统的帮助下进行纳米操作,使得组装纳米传感器、纳米机械装置的可行性更大,成功率更高。

## 参考文献

- 1 G Binning, C. F. Quate, C. Gerber. Atomic force microscope. *Physical Review Letters*, 1986, 56(9): 930~933
- 2 H. McNally, M. Pingle, S. W. Lee, D. Guo, D. E. Bergstrom, R. Bashir. Self-assembly of micro- and nanoscale particles using bio-inspired events. *Applied Surface Science*, 2003: 109~119
- 3 Xiao J T, Liu L Q. 3D nano forces sensing for an AFM based nanomanipulator. *International Conference on Information Acquisition*, Hefei, 2004: 208~212
- 4 Li G Y, Xi N. Assembly of nanostructure using AFM based nanomanipulation system. *Proceedings-2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2004: 428~433