

模糊控制在 STM 反馈控制中的应用

The Application of Fuzzy Control in Feedback Controlling of STM

天津大学精密仪器与光电子工程学院(300072) 傅星 胡小唐

【摘要】STM 是纳米尺度上进行测量的主要工具之一。反馈调节是 STM 仪器的主要环节。提高反馈控制精度和反馈控制速度是 STM 要解决的重要问题。利用模糊控制原理设计的模糊控制器在调节性能上比传统的 PID 调节器精度高、速度快。试验表明,这种调节方法是解决 STM 反馈控制中非线性问题比较好的方法之一。

关键词:STM, 反馈调节, 模糊控制

Abstract: The scanning tunneling microscope (STM) is one of the metrology tools for nano-dimension. Feedback controlling is the main part of STM instruments. It's a key of STM to improve the quality of image of STM accurately and speedily. A fuzzy controller with fuzzy controlling theory is proved much better than the conventional PID controller in accuracy and rate. It's shown on experiment, it's one of the good solution to non-linear of feedback control in STM.

Key words: STM, feedback control, fuzzy control

STM (scanning tunneling microscope, 扫描隧道显微镜) 是贝宁 (Binnig) 等人于 1981 年发明的。它的发明使人们以原子分辨率直接观察材料表面几何和电子结构的梦想成为现实。经过多年的发展,STM 已成为许多前沿科学研究领域强有力的工具。

1 STM 检测原理

STM 检测原理如图 1 所示。在探针与样品之间加一个偏置电压,当针尖与样品之间的距离非常接近时(大约 1 nm),在针尖与样品之间会有电流流过,这个电流被称为“隧道电流”,电流的大小与两者之间的距离有关。STM 正是利用检测这个电流来测定样品表面结构的。隧道电流是距离的指数函数:当距离改变 10% (0.1 nm) 时,隧道电流改变一个数量级。

X, Y 方向的压电陶瓷在计算机的控制下,在样品表面做 X, Y 平面的扫描; Z 方向的压电陶瓷控制探针与样品表面的距离。根据检测方式的不同,可以分为

恒高法检测和恒流法检测。恒高法因为不必移动针尖的高度,因此,测试速度较快,但它仅适用于相对平滑的样品表面。恒流法可以高精度地测量不规则的表面,但是由于需要不停地移动针尖的高度,因此测试速度较慢。

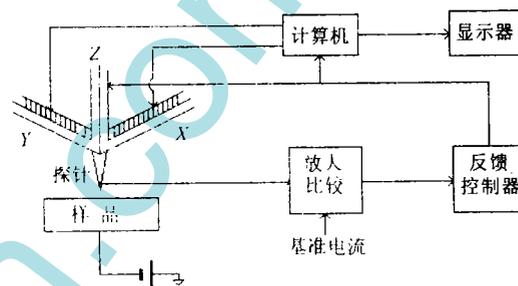


图 1 STM 原理框图

恒流法的检测原理:由反馈电路输出的信号调整针尖的高度,针尖与样品之间的隧道电流经检测电路放大,与基准电流比较。当大于基准电流时,反馈电路输出信号,减小 Z 方向压电陶瓷的驱动电压,使其位移减小,导致针尖与样品之间的距离增大,隧道电流减小,重复该过程,最终使隧道电流等于基准电流,反之亦然。在连续扫描过程中,如果始终保持恒定的隧道电流,也就是始终保持针尖与样品之间的距离恒定,反馈电路的输出信号的大小,正好反映了样品表面结构的变化。将该信号引入计算机,在显示器上按照信号的变化趋势描绘出图像,就是样品表面结构的图像。

在这里保持这个恒定的隧道电流就成为 STM 要解决的重点问题。

2 反馈调节问题

探针高度的调节是由控制电路根据一定的控制算法输出控制信号,用这个信号改变施加在压电陶瓷上的电压,使压电陶瓷发生位移,这就使固定在压电陶瓷上的探针高度随之变化,由于样品不动,因此探针与样品之间的距离就改变了。但是在实际使用中,由于压电陶瓷的非线性,使得施加电场与电位移之间没有确

定的对应关系,使探针高度的调节变得复杂。通常 STM 采用 PID(或 PI)算法实现闭环调节。但压电陶瓷电压—电位移曲线具有严重的非线性, PID 参数的整定很困难。特别是环境、条件、时间等因素的变化,使初始整定的参数不再合适,调节特性变差,调节精度降低,调节速度变慢。

3 模糊控制的应用

模糊调节算法是解决非线性控制的有力工具。模糊控制框图如图 2 所示。

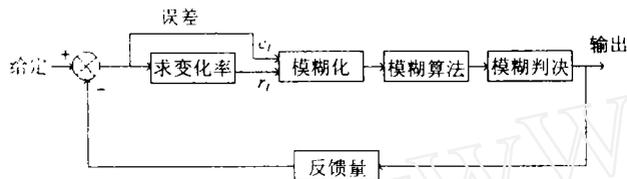


图2 模糊控制框图

模糊控制的基本方法是将操作者的经验总结成若干条规则(称为模糊控制规则),经过模糊数学处理,存放在计算机中;同时模仿人脑的推理过程来确定推理规则,计算机根据输入的推理过程来确定推理规则,并根据输入的信息,按照模糊控制规则和模糊推理规则,作出相应的模糊决策,完成控制动作。

本文根据 STM 实际应用条件, Z 轴输出电压的变量为 ΔU_i (严格地说应为 $\Delta U_i \times V_H/2^n - 1$, V_H 为最高输出电压, n 为 D/A 转换器位数), 考虑到隧道电流的产生条件(距离在 1 nm 左右), 以及实际的“电滞回线”关系, 给出了模糊控制表(见表 1)及相应参数值。

表 1 模糊控制表*

r_t	E_t								
	-6	-4	-2	-1	0	+1	+2	+4	+6
-6	NB	NB	NM	NM	NS	NZ	NZ	ZR	ZR
-4	NB	NB	NM	NS	NS	NZ	ZR	ZR	PZ
-2	NM	NM	NS	NS	NZ	NZ	ZR	PZ	PS
-1	NM	NM	NS	NS	NZ	ZR	PZ	PS	PS
0	NM	NS	NS	NZ	ZR	PZ	PS	PS	PM
+1	NS	NZ	NZ	ZR	PZ	PS	PS	PM	PM
+2	NS	NZ	ZR	PZ	PZ	PS	PS	PM	PM
+4	NZ	ZR	ZR	PZ	PS	PS	PM	PB	PB
+6	ZR	ZR	PZ	PZ	PS	PM	PM	PB	PB

* NB = -20, NM = -7, NS = -3, NZ = -1, ZR = 0, PZ = +1, PS = +3, PM = +7, PB = +20, E_t 为偏差, r_t 为偏差变化率。

4 试验

在 CSTM-9000 型 STM 仪器上做了用单片机构成的模糊控制器替代 STM 原有的反馈调节硬件, 实现模糊反馈调节的试验, 试验连接图如图 3 所示。

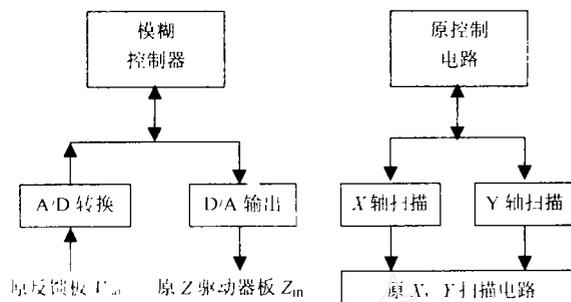


图3 模糊控制器试验连接示意图

分别用该系统与原系统对同一石墨表面的同一区域进行扫描对比, 结果表明, 图像清晰度明显提高。

参考文献

- 1 Hezama P K, Elings V B, Marti O, Bracker C E. Scanning tunneling microscopy and atomic force microscopy: application to biology and technology. Science, 1988, (242)
- 2 汪培庄, 韩立岩. 应用模糊数学. 北京经济学院出版社, 1989
- 3 孙慷, 张福学. 压电学. 国防工业出版社, 1984.5

(收稿日期: 1998-09) □

磁盘数据存储技术的发展

随着信息技术的发展, 磁盘数据存储技术也在高速发展着。一般认为计算机工业的发展遵循摩尔(MORE)定律: 每隔 18 个月计算机芯片上晶体管的数目将翻一番。同样, 对磁盘技术而言, 从 1991 年以来, 每隔 18 个月, 数据存储密度大约提高 60%。IBM 公司 1996 年 4 月突破了每平方英寸磁盘空间存储 10 亿位(Bit)数据的记录。而 1997 年 12 月 30 日宣布, 该公司又突破了每平方英寸磁盘空间存储 100 亿位数据的大关。数据存储密度的新记录是每平方英寸 116 亿位, 即每平方厘米 18 亿位。IBM 公司称该项新技术的产品将于 2001 年上市。这项新技术将首次应用于便携式计算机的 2.5 英寸的固定式硬盘驱动器, 使其可以存储 6.5 千兆字节(即 520 亿位)的数据, 从而使超薄型便携式计算机获得前所未有的巨大的数据存储能力。3.5 英寸的硬盘驱动器则可以存储高达 12 至 13 千兆字节的数据。1998 年 9 月该公司再次宣布, 该公司研制的“微硬磁盘”可以在体积小于火柴盒的硬盘内存储 340 兆的数据。这项发明应用了最新的巨磁阻技术, 在实验室的样机中曾创造了每平方英寸存储 1 450 兆数据的记录。

尽管磁盘数据存储技术取得了这样辉煌的成就, 信息技术的发展仍迫切要求进一步提高磁盘的数据容量。但是, 目前磁盘记录数据的方式限制了其性能的提高, 已经接近数据存储容量的极限。专家们估计, 按目前磁盘技术发展的速度推算, 到 2003 年或 2004 年就将达到这一极限。那时, 磁盘的容量密度将达到每平方英寸 8 000 兆。

为了超越这一极限, 目前提出采用磁-光学方法, 采用这种新技术, 信息依然记录在磁介质上, 但是它的磁性在常温下是稳定的, 只有利用激光形成高温才能改变其磁性, 并进行数据记录。美国加州 TeraStor 公司开发了一种称为“近场记录方法”的技术, 它在磁头上装一个特制的镜头, 非常接近磁盘表面, 使激光聚焦得极细, 形成极小的磁斑。其容量可达每平方英寸 20 000 兆(即 20 个 G)。利用这种技术生产的第一代产品不久可望问世。该公司认为, 他们研究的这项新技术仍能使磁盘容量密度以每年 60% 的速率增长。实现每平方英寸 37G 的存储密度是完全可能的, 这样, 一个磁盘的容量就可以达到 1 000G。另一项新技术是利用一个极高精度旋转的小镜子来控制激光射向磁盘表面, 以代替传统的马达。上述两项技术结合起来, 就会大大提高磁盘的容量。 □