

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0158-03

## 智能数控抛光控制模型

万勇建, 袁家虎, 杨力, 范斌

(中国科学院成都光电技术研究所, 四川 成都 610209)

**摘要** 现有数控小工具光学表面成形技术的控制模型是线性模型,它在应用中存在确定加工参数周期长、精度低、耗资大等困难。为此提出一种智能控制模型——改进型自适应模糊控制模型,具有自学习功能,并且可充分利用专家语言信息和数据信息。采用该模型仿真抛光一周期,面形  $P-V$  值收敛了 30% 左右。

**关键词** 自动控制技术; 非球面; 抛光; 计算机控制; 模糊控制

中图分类号 TP202+.7

文献标识码 A

## Adaptive Model for Polishing

WAN Yong-jian, YUAN Jia-hu, YANG Li, FAN Bin

(Institute of Optics and Electronics, The Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China)

**Abstract** Computer controlled optical surfacing (CCOS) is one of the most important methods in fabrication of aspheric surface. In this paper, considering manufacture of aspheric lens, an improved adaptive fuzzy algorithm based on semantic and numerical inference is developed and a prediction system is built up. The simulation demonstrates the validity of the method.

**Key words** auto-controlling technique; aspheric; polishing; computer control; fuzzy algorithm

### 1 引言

高精度非球面光学元件的数控抛光技术的研究方兴未艾,其中,计算机控制小磨头抛光技术(CCOS)研究较为广泛。它采用比光学元件尺寸小得多的柔性抛光工具加工。目前一般采用的控制模型是一种称为“线性移动不变系统”(linear and shift invariant system)的数学模型。该模型以 Preston 方程  $MMR=KPV$  为基础,把计算机数控磨盘抛光看作是:抛光模的运动参数通过一个数学模型变换成材料去除量,这个模型是线性的,不随抛光模位置的移动而变化。使用这一模型,任一位置的去量为,  $\Delta z(x,y)=R(x,y) \times D(x,y)$ ,式中  $R(x,y)$  是驻留函数,  $D(x,y)$  是去除函数。

事实上,抛光是一个物理化学作用的综合结果,是典型的复杂非线性时变过程。而且因加工过程中环境或其他因素的变化,要建立一个准确的数学模型来描述它非常困难,而单纯采用“LSI”模型在实际加工中并不能很好地适应这种时变过程。

### 2 模糊智能控制模型

智能控制中的模糊智能控制技术是一种对初等形式的人的逻辑思维的模仿,它提供了一种基于知识的甚至是语言描述的控制规律的新机理,是一种非线性并行处理控制器,其突出点就是可以有效地利用已被证明是成功的专家的经验控制,特别适合于模型未知或模型不精确的控制对象。目前数控光学加工领域仍有待发展和完善,采用模糊控制应该可以缩短探索数控光学加工内在规律的时间。

本文采用一种改进型自适应模糊控制结构,它是一种具有学习功能的模糊逻辑系统。这里的模糊逻辑系统是由一系列模糊“如果—则”规则组成的,学习算法是依靠数据型输入—输出“对”来调整模糊逻辑系统的参数。前者是对专家语言信息的利用,后者则是对数据信息的利用,二者结合将更加符合实际情况取得好的控制效果。

模糊控制在光学加工中的应用有如下几种模式: 1) 根据实际加工情况,在不同的位置采用不同的  $K$  值以使  $MMR=KPV$  与实际吻合。用模糊逻辑

算法确定区域和优化  $K$  (磨料评估参数) 的取值, 如图 1。2) 对一般 Preston 方程加一个补偿值  $MMR_0$ , 即  $MMR=KVP+MMR_0$ 。补偿值采用模糊控制算法根据实际加工检测情况进行补偿, 如图 2。3) 直接采用模糊控制器, 在影响抛光精度的众多复杂因素中, 选取几个主要参数, 其模糊控制器模型见图 3。

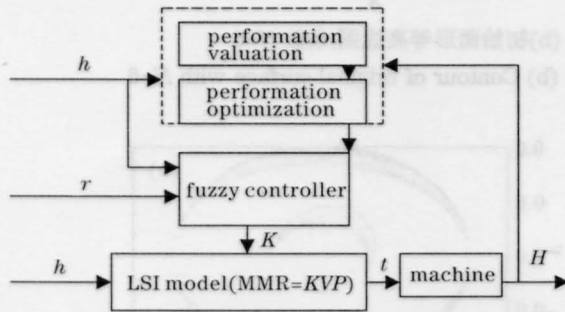


图 1 自适应模糊控制器调整  $K$  原理图

Fig.1 Self-adaptive fuzzy algorithm for designing  $K$

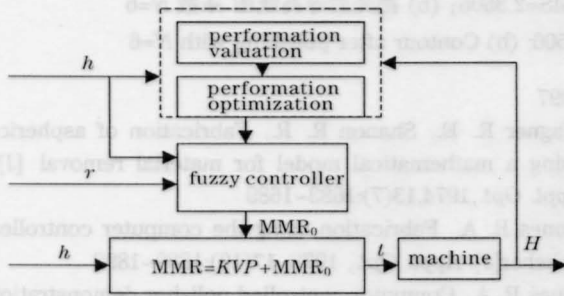


图 2 自适应模糊控制器调整  $MMR_0$  原理图

Fig.2 Self-adaptive fuzzy algorithm for designing  $MMR_0$

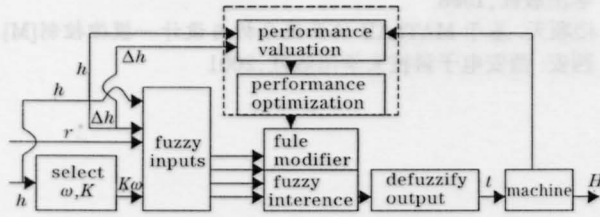


图 3 拟采用的自适应模糊控制器原理图

Fig. 3 Self-adaptive fuzzy algorithm

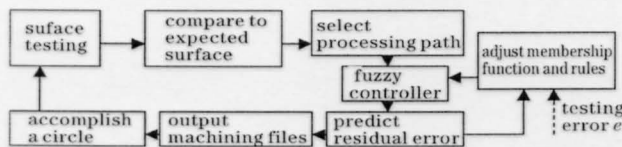


图 4 采用模糊控制器的数控抛光流程框图

Fig. 4 Polishing flowchart with fuzzy controller

在图 1~3 中,  $h$  为待抛光量,  $\Delta h$  为待抛光量的

变化量,  $\omega$  为抛光盘与工件的相对速度,  $r$  为抛光点位置,  $t$  为模型预测抛光时间,  $H$  为实际抛光量。

图 1, 图 2 所示模型是 Preston 方程的变体, 是线性模型的一种改良。图 3 模型出发点不同, 完全从智能控制中的模糊控制思想出发预测控制抛光时间, 指导加工。本文重点分析图 3 的智能模型。

采用这种自适应模糊控制模型, 首先根据加工者的实际加工经验确定模糊控制器的初始控制规则和参数, 接着就可在加工控制过程中自学习调整优化其控制规则和参数, 以达到完善控制性能的目的。由上述模糊控制器的原理, 可得出采用自适应模糊控制器的数控抛光流程框图, 见图 4。

### 3 分 析

抛光过程是一个复杂的多变量非线性控制过程, 为了验证采用自适应模糊控制系统的可行性, 也就是验证其拟合系统隐含的非线性规律的能力, 用计算机编程仿真实验模糊控制器的预测控制抛光时间的能力。假设抛光系统是稳定且抛光过程中抛光量只与抛光时间有关, 为了简化仿真过程, 采用单输入单输出的自学习模糊控制器。本模糊系统采用 Sugeno 型模糊推理系统, 隶属函数采用广义钟形隶属函数, 即

$$f(x,a,b,c)=\frac{1}{1+|(x-c)/a|^{2b}}$$

其中  $a, b, c$  为可调参数。学习算法采用最小二乘法结合 BP 梯度下降法的混合学习算法。在这一控制器中, 输入待抛光量  $h$ , 输出抛光时间  $t$ 。该模糊模型初始面形  $P-V=0.1904, RMS=2.7633$  的情况下, 取 100 对值作为学习输入数据, 输入隶属函数取 8 个。将学习 100 次后的模型用于抛光模拟。

仿真结果表明该模型在不长的学习过程后就可以很好地学习到输入输出数据隐含的非线性规律, 表现为波面的  $P-V$  值有了较大幅度的降低。显然在我们的抛光系统中采用这个或这类模型应该也可以很好地学习到隐含的规律, 从而更精确地预测抛光时间。随着加工的进行, 抛光系统的参数有可能发生变化, 采用自适应模型则可相应地调整, 这样较之传统方法可更方便地获得高的加工精度, 减少实验周期, 降低成本。

图 5 是用该模型仿真抛光前的面形误差波面图及其等高线图。

采用该模型模拟抛光一个周期后的波面图和等高线图, 见图 6。

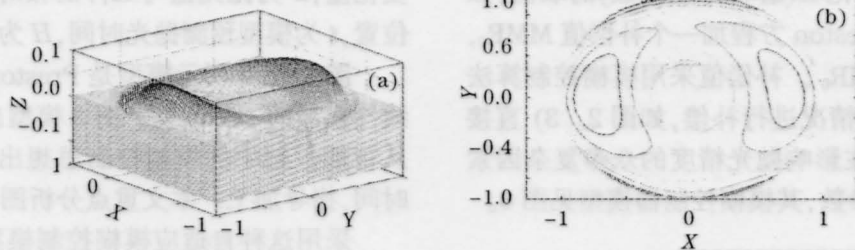


图5 (a)初始面形  $P-V=0.1904, RMS=2.7633$ ; (b)初始面形等高线图,条数  $N=6$

Fig.5 (a) Original surface  $P-V=0.1904, RMS=2.7633$ ; (b) Contour of original surface with  $N=6$

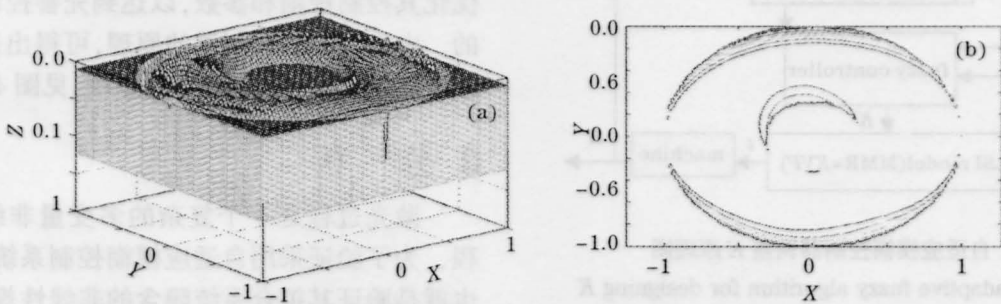


图6 抛光一个周期后, (a) 抛光后面形图  $P-V=0.1220, RMS=2.3506$ ; (b) 抛光后等高线图 条数  $N=6$

Fig.6 (a) Surface after polishing  $P-V=0.1220, RMS=2.3506$ ; (b) Contour after polishing with  $N=6$

### 4 结束语

智能控制在光学非球面镜加工中是一种高效低成本高品质的方法。仿真实验表明一个学习完备的模糊模型预测控制抛光在抛光一个周期后,收敛可达35%,将其用于光学元件抛光加工是完全可行的。这一类模型用在光学元件的数控加工过程中,在提高效率和精度方面将有很大的潜力。

### 参考文献

1 杨力. 先进光学制造技术[M]. 北京:科学出版社,2001  
 2 辛企明. 近代光学制造技术[M]. 北京:国防工业出版社,

1997

3 Wagner R. E., Shanon R. R.. Fabrication of aspherics using a mathematical model for material removal [J]. *Appl. Opt.*,1974,13(7):1683~1689  
 4 Jones R. A.. Fabrication using the computer controlled polisher[J]. *Appl. Opt.*, 1978, 17(12):1889~1892  
 5 Jones R. A.. Computer controlled polisher demonstration [J]. *Appl. Opt.*,1980,19(15):2072~2076  
 6 张学军. 数控光学成形的计算机模拟及工艺实验[J]. 精密工程, 1993, (10):64~68  
 7 王士同. 神经模糊系统及其应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1998  
 8 楼顺天. 基于 MATLAB 的系统分析与设计—模糊控制[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001



图 5 模糊推理控制系统的流程图  
 Fig. 5 Flowchart of fuzzy inference control system