

文章编号: 1001-3806(2004)05-0524-03

# 非接触式激光数字化采集和加工系统的研究

邵志勇<sup>1</sup>, 曾子维<sup>1</sup>, 唐 萍<sup>2</sup>

(1. 鞍山科技大学 计算机科学与工程学院, 鞍山 114044; 2. 鞍山科技大学 机械工程与自动化学院, 鞍山 114044)

**摘要:** 研究并开发出非接触式激光数字化采集加工系统, 实现了数控仿形加工中的非接触测量。该系统不仅降低了对仿形模型材料刚度的限制, 而且解决了接触式测头与被测表面曲率干涉问题, 提高了数控仿形机床对复杂模具的加工能力。

**关键词:** 激光; 非接触测量; 数字化采集; 数控仿形

**中图分类号:** TN249; TP274 **文献标识码:** A

## Research of non-contact laser digitizing collection and machining system

SHAO Zhi-yong<sup>1</sup>, ZENG Zi-wei<sup>1</sup>, TANG Ping<sup>2</sup>

(1. School of Computer Science and Engineering, Anshan University of Science and Technology, Anshan 114044, China; 2. School of Mechanical Engineering and Automation, Anshan University of Science and Technology, Anshan 114044, China)

**Abstract:** In this paper, a laser digitizing and machining system is studied and designed. This system realizes the non-contact measurement in NC copying machine. It can not only relax restriction on copying model material and stiffness, but also effectively solve the interference of contact detector with large curvature surface. At the same time, the system improves the ability that NC copying machine processes the complicated model.

**Key words:** laser; non-contact measurement; digitizing collection; NC copying

### 引 言

随着加工技术的发展, 对机床的自动化程度和加工精度提出了越来越高的要求, 同时也提出了通用性与灵活性的要求, 尤其在模具制造业、汽车工业、航空航天工业的复杂表面加工中, 常以实物模型代替工程图纸来决定工件的几何形状尺寸, 仿形加工就是以实物模型为样件, 在数控仿形机床上复制出形状尺寸相同的工件。进入 90 年代, 美国、英国的学者利用激光及光点扫描测量技术<sup>[1,2]</sup>设计出了非接触式激光数字化测头, 并应用于实际生产中。

### 1 激光数字化仪的测量原理

激光数字化仪是利用三角测量原理来测量物体在空间的绝对坐标。其测量工作原理如图 1 所示。

激光数字化仪发出的激光光束经模具表面漫反射, 其反射光具有激光数字化仪与模具表面之间距

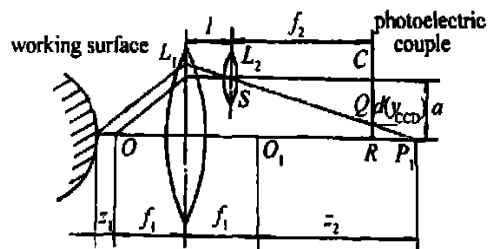


Fig. 1 Measuring principle of laser digitizer

离的信息, 即区轴的信息。这一信息又与反射光给光学系统入射到 CCD 光电耦合器上的光点位置相对应。用数学式可表达如下:

$$y_{\text{CCD}} = F(z_1, x_1, \dots, x_n) z_2 \quad (1)$$

式中,  $y_{\text{CCD}}$  (图 1 中的  $d$ ) 为 CCD 光电耦合器上入射点的位置;  $z_1$  为模具上入射点的位置;  $x_1 \dots x_n$  为光学系统各参数值。

在设计上述光学系统时, 尽量使映射关系  $F$  与  $z$  无关, 使之在一定精度范围内保持常量, 即设计出一套在一定精度范围内具有线性特殊的光学系统。

在图 1 所示的光学几何图形中, 位移  $z_1$  和光点位置  $d$  ( $y_{\text{CCD}}$ ) 间的关系如下:

$$f_1^2 = z_1 z_2 \quad (2)$$

从  $\triangle P_1 R Q$  和  $\triangle S C Q$  的相似性质可得:

$$\frac{d}{f_2} = \frac{a-d}{f_1 + z_2 - f_2 - l} \quad (3)$$

作者简介: 邵志勇 (1963), 男, 副教授, 博士, 现从事机电一体化应用研究工作。

E-mail: anshanszy@sina.com

收稿日期: 2003-10-17; 收到修改稿日期: 2004-02-05

由(2)式及(3)式可得:

$$d = af_2 z_1 / (f_1 z_1 + f_1^2 - lz_1) \quad (4)$$

为使会聚透镜起到会聚作用, 据一级像差理论, 令  $l = f_1$ , 则上式变为:  $d = (af_2 / f_1^2) z_1 \quad (5)$

根据初等几何光学理论,  $a, f_1, f_2$  是常数, 因而被检测光点位置  $d$  (CCD 上的大小) 和光轴上的位移  $z_1$  成线性关系。

## 2 激光数字化采集系统

非接触式激光数字化仪是激光数字化采集系统的核心部分。文中所述的激光数字化采集系统是由数控机床、数控系统、激光数字化仪、串行通讯接口和相对应的控制软件组成。在进行数字化采集时, 激光数字化仪安装在机床主轴上, 被测工件模型安装在工作台上, 在控制系统控制下, 进行工件模型表面的数据采集。图 2 为激光数字化采集系统框图, 图 3 为激光数字化加工流程图。

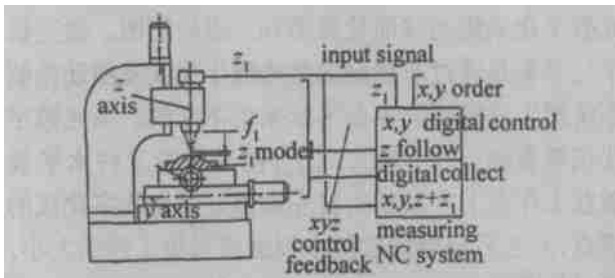


Fig. 2 Schematic diagram of laser digitizing collection system

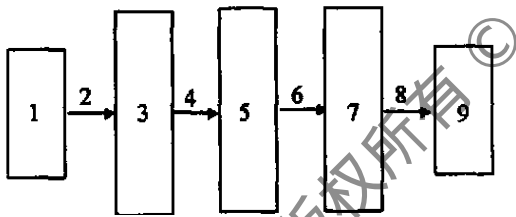


Fig. 3 Flowchart of laser digitizing machining system

1—master mould 2—scan 3—3 D digitizing system 4—data 5—CAD/CAM system 6—NC order 7—NC machine 8—process 9—complete workpiece

### 2.1 CCD 光电耦合器

CCD 光电耦合器及信号处理电路是激光数字化仪中数字化装置的核心部分之一, 它主要完成光电信号的转化、CCD 输出的视频电压信号放大及 CCD 信号数字化前处理等功能。CCD 信号处理电路将来自激光器数字化仪的 3 路 CCD 信号转化成 6 路含有位移信息的方波信号, 此 6 路方波信号将送给微机数字化系统进行数据采集。

### 2.2 信号检测与信号处理系统

被检测对象的光信息通过光学系统, 在 CCD 的光敏元上形成光学图像。CCD 器件把光敏元上的光信息转换成与光强成比例的电荷量。用一定频率的时钟脉冲对 CCD 进行驱动, 在 CCD 的输出端可获得被测对象的视频信号。视频信号中每一个离

散电压信号的大小对应着该光敏元所接收光强的强弱, 而信号输出时序则对应 CCD 上光敏元位置的顺序。CCD 用自身电子扫描方式完成信息从空间域到时间域的变换。这里应用 CCD 光电耦合器来对工件模型尺寸进行测量和采集, 首先应对 CCD 视频信号进行二值化等处理后, 再进行采集。图 4 为 CCD 器件光信号检测与电信号处理系统的框图。

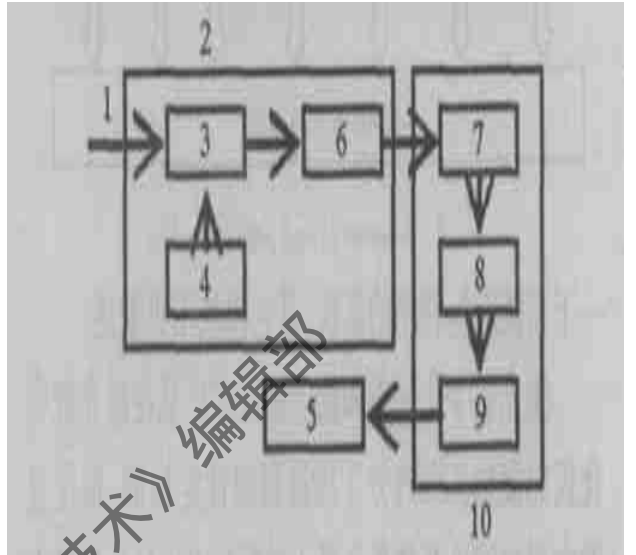


Fig. 4 Schematic diagram of optical signal checking and electrical signal processing system

1—optical signal 2—optical signal checking electric circuit 3—CCD detecting head 4—CCD driving circuit 5—chip microprocessor digitizing system 6—CCD amplifying circuit 7—peak discrimination circuit 8—value comparison circuit 9—trigger circuit 10—processor circuit before digitized of CCD signal

### 2.3 激光数字化采集系统数据传送过程

该激光数字化采集系统所使用的激光数字化仪采用了 3 路 CCD, 每个 CCD 间互成  $120^\circ$  角。由于本系统中 CCD 是上、下沿触发, 对于每个测量点, 每路 CCD 产生 2 个方波信号, 3 路 CCD 产生 6 路方波信号, 此 6 路方波信号通过 2 个定时器/计数器进行计数, 并把方波信号转换成数字量。微机对接收到的数据进行处理, 以备数据采集及随动控制使用, 重复上述过程, 直到数据采集结束为止。

### 2.4 激光数字化采集和加工系统软件开发

激光器数字化采集和加工系统的软件控制着整个激光数字化采集系统的全部工作过程, 它的质量决定着系统的使用性能和方便程度。该系统软件的结构和组成见图 5。

上图说明的系统软件是采用模块化结构, 由 PC 机与单片机串行通讯程序模块, 选取传送到 PC 机上的 3 路 CCD 最佳值程序模块、系统定标程序模块、系统后台管理模块、系统前台控制模块及随动控

制模块、数据处理等模块组成。各模块之间的信息传递采用公共数据区的办法来实现。以下主要讨论

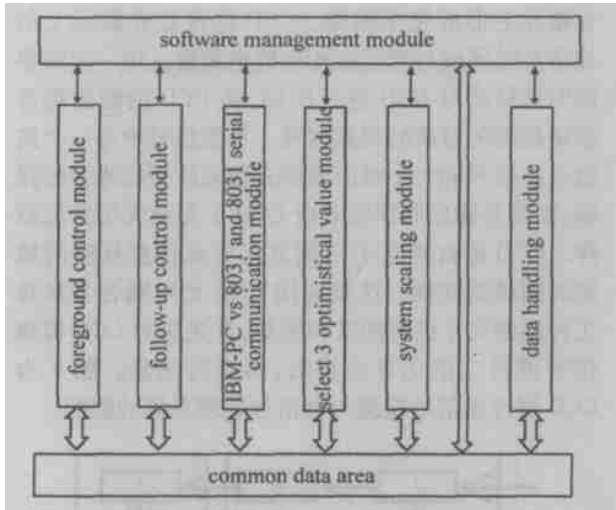


Fig. 5 Relations of each software module

一下系统定标程序的实现,其它模块不再赘述。

激光数字化采集和加工系统定标是在激光数字化仪的测量范围内分3段进行线性定标的,每段直线方程的线性系数是由最小二乘法求出的。设其直

线方程为:  $z_i = a_j x_i + b_j$ , 设:  $A = \begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \dots & \dots \\ x_n & 1 \end{bmatrix}$ ,  $n \times 2$

$$\beta = \begin{bmatrix} a_j \\ b_j \end{bmatrix}, Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \dots \\ z_n \end{bmatrix} \quad n \times 1$$

根据最小二乘法可求得  $a_j$  及  $b_j$ 。

$$A \cdot \beta = Z \quad (6)$$

$$A^T \cdot A \cdot \beta = A^T \cdot Z \quad (7)$$

则  $\beta = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot Z \quad (8)$

由此可求得:  $a_j = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot z_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n z_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}$ ,

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n z_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot z_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}$$
。其中,

$a_j$  和  $b_j$  分别为斜率和截距,  $i$  为输入的点数,  $j$  为组数,  $x_i$  为定标时激光测得的值,  $z_i$  为定标时理论定标值。通过上述方法定标。在激光数字化采集和随动控制时,可以在测量范围内准确得出  $z$  轴的位置变化量  $z_1$  值。该定标软件程序流程图如图 6 所示。

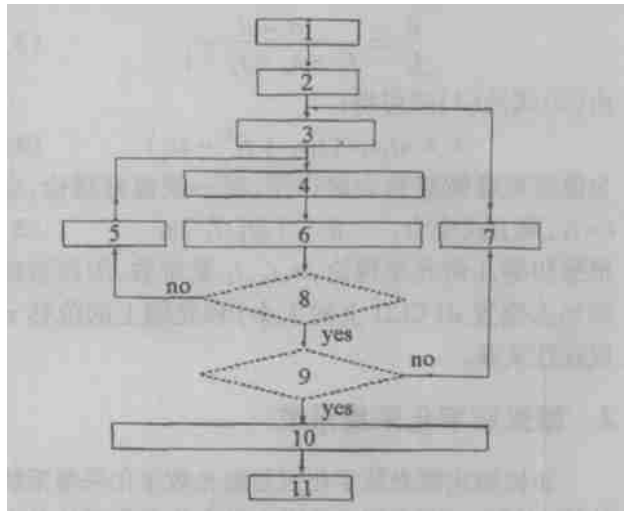


Fig. 6 Flow chart of the software scaling

1—scaling began 2—input point 3—record point  $i = 1$  4—input theoretical value  $z_i$  with keyboard 5— $i + 1$  6—read CCD value  $x_i$  7—group+ 1 8—end of counting? 9—end of three group? 10—calculating every  $a_j, b_j$  by least square method 11—end

### 3 实例分析

图 7 和图 8 所示为激光数字化采集实例——激光数字化采集的球面轮廓图和三通轮廓图。激光数字化采集是通过非接触的激光数字化仪及随动控制系统把工件模型的表面形状采集下来的。激光数字化仪竖直固定在  $z$  轴方向上,被采集的工件水平放置在工作台上。采集时首先调整好激光数字化仪的零点,并在后台管理软件中根据被采集工件的大小,设置好采集范围,即设置  $z$  轴、 $y$  轴的采集限位,同

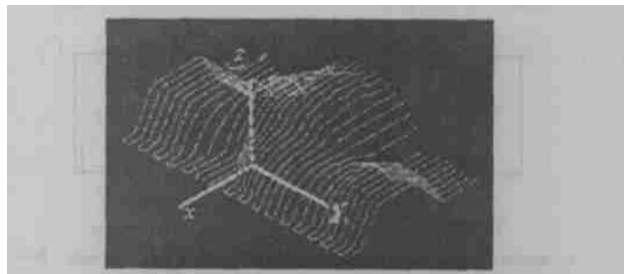


Fig. 7 Outline drawing of laser digitizing collecting spherical surface

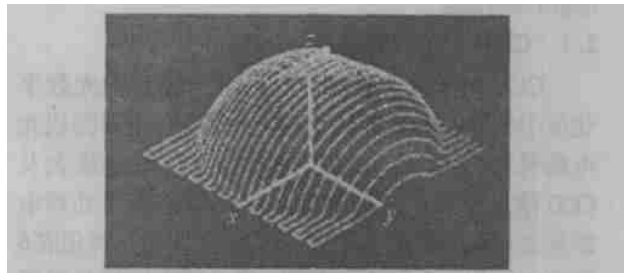


Fig. 8 Outline drawing of laser digitizing collecting tee joint

中给出了有相同  $M^2$  因子和  $W_0$ 、但不同  $w_0$  的 FMGB 和 FGB 通过透镜传输的相对光强分布, 计算参数为:  $W_{0\text{FMGB}} = W_{0\text{FGB}} = W_0 = 82.76\mu\text{m}$ ,  $w_{01} = 10\mu\text{m}$ ,  $w_{02} = 75\mu\text{m}$ , 由图 3 可看出, 当  $M^2$  因子和  $W_0$  相同时, FMGB 和 FGB 在相同传输距离  $z$  处, 虽然初始束腰  $w_0$  不同, 但在广义菲涅耳数相同的面上, 它们的光强分布极为相似。图 4 中给出了有相同  $M^2$  因子、但不同  $w_0$  和  $W_0$  的 FMGB 和 FGB 通过透镜传输的相对光强分布, 计算参数为:  $w_{01} = 75\mu\text{m}$ ,  $w_{02} = 40\mu\text{m}$ ,  $W_{0\text{FMGB}} = 623.15\mu\text{m}$ ,  $W_{0\text{FGB}} = 44.14\mu\text{m}$ , 由图 4 可看出, 即使束腰宽度不相同, 传输距离也不同, 但只要满足这两类光束的广义菲涅耳数相同, 则在广义菲涅耳数相同的面上, 这两类光束就具有极为相似的光强分布。此外, 还对 FMGB 和 FGB 通过 ABCD 光学系统和自由空间的传输作了大量数值计算比较, 结果表明上述结论同样是正确的。

### 3 小结

对 FMGB 和 FGB 的一致性作了研究。对此, 用两个物理参数, 即  $M^2$  因子和以二阶矩定义束宽表示的广义菲涅耳数, 将 FMGB 和 FGB 联系起来, 并推导出了有相同  $M^2$  因子的 FMGB 和 FGB 的阶数  $N_{\text{FMGB}}$  和  $N_{\text{FGB}}$  之间的关系式。得出的主要结论是: 具有相同  $M^2$  因子的 FMGB 和 FGB, 无论它们的束宽是否相同, 当通过无光阑限制近轴 ABCD 光

学系统时, 在广义菲涅耳数相同的面上, 它们具有极为相似的光强分布。因此, 可视研究问题的方便, 使用 FMGB 或 FGB 模型对实际平顶分布光束作计算模拟, 所得结果是一致的, 这给应用带来了方便。例如, 对激光聚变驱动器中的光传输, 国内外学者用 SGB 光束模型已作了大量计算模拟和与实验比较工作, 得到了满意的结果。该文和文献 [7] 中的研究表明, 若采用适当选取参数的 FGB 或 FMGB 模型, 原则上应得到相同的结果。为说明主要物理问题, 文中的计算是针对二维 FMGB 和 FGB 进行的, 但所得结论可直接推广用于三维 FMGB 和 FGB。

### 参考文献

- [1] PARENT A, MARIN M, LAVIGNE P. Propagation of super Gaussian field distribution [J]. Opt & Quant Electron, 1992, 24: 1071~ 1079.
- [2] GORI F. Flattened Gaussian beams [J]. Opt Commun, 1994, 107: 335~ 341.
- [3] LÍ B D, MA H. Coherent and incoherent combinations of off axis Gaussian beams with rectangular symmetry [J]. Opt Commun, 1999, 171: 185~ 194.
- [4] TOVA A T. Propagation of flat topped multi Gaussian laser beams [J]. JOSA, 2001, A18: 1897~ 1904.
- [5] LÍ B Z, LÍ B D. Irradiance moments characterization of off axis Gaussian beam combinations by means of the wigner distribution function [J]. Optik, 2002, 113: 469~ 475.
- [6] LÍ B D, LUO Sh R, ZHANG B. Propagation of flattened Gaussian beams with rectangular symmetry passing through a paraxial optical ABCD system with and without aperture [J]. Opt Commun, 1999, 164: 1~ 6.
- [7] 罗时荣, 吕百达, 张彬. 平顶高斯光束与超高斯光束传输特性的比较研究 [J]. 物理学报, 1999, 48: 1446~ 1451.

(上接第 526 页)

时设置其它与数字化采集相关的参数, 如  $P$ ,  $I$ ,  $D$  参数及进给速度等, 最终得到的是工件模型表面的激光数字化采集数据, 并对激光数字化采集的数据在计算机中进行处理及图形仿真。实验表明, 该系统可以测量采集倾角  $\leq \pm 75^\circ$  的自由表面。激光数字化仪的稳定性精度为:  $\pm 0.0162\text{mm}$ , 重复精度为  $\pm 0.0351\text{mm}$ , 在  $\pm 1\text{mm}$  测量范围内的线性精度为  $\pm 0.077\text{mm}$ 。在激光数字化采集时, 激光数字化仪只工作在零点附近, 因此, 上述精度能够满足一般数控仿形加工中的精度要求。

### 4 结论

研究开发的激光数字化采集和加工系统采用了一种新型的数字化采集方法, 这主要是面向生产实际, 用非接触的激光数字化仪代替传统的接触式测头, 来实现数控仿形加工中的数字化采集。该方法

用于数控仿形在国内尚属一种新的尝试。研究开发的系统, 用于数控仿形铣床上, 可以实现模具曲面的自动跟踪和数据采集, 实验证明该系统原理正确、结构简单、使用方便、跟踪稳定可靠。另外, 激光数字化采集的是工件模型实际表面坐标而不是一般接触测头仿形探针中心的坐标, 避免了接触式测头与被测表面的曲率干涉问题, 提高了测量精度。

该采集系统对被采集的模型材料要求低、适用性广, 尤其对塑料、橡胶、粘土、纤维、海绵、石膏、薄壁等易于变形模型的数字化采集, 就更显示出其非接触测量的优越性了, 具有广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] SAITO K, MIYOSHI T. Noncontact 3-D digitizing and machining system for free form surfaces [J]. Annals of the CIRP, 1991, 40 (1): 483~ 486.
- [2] AKUTA T, NEGISHI Y. Development of an automatic 3-D shape measuring system using a new auto-focusing method [J]. Measurement, 1990, 9(3): 98~ 103.