

文章编号: 1003-501X(2007)04-0128-04

凹球面网栅激光直写实时控制方法

梁凤超^{1,2}, 胡 君¹, 续志军¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 提出一种基于 Dual-Ported RAM (DPRAM)的凹球面网栅激光直写实时控制方法。采用计算机与 PMAC 双 CPU 主从并行、双向通讯和即存即取的控制方法, 开发了多层嵌套并行工作程序, 使计算机与 PMAC 实时处理、交换、显示大量控制参数和状态信息, 实现了实时控制激光直写凹球面网栅。在口径 200mm、半径 150mm 的涂覆感光胶玻璃凹球面基底上, 激光直写出了 100 μ m 周期网栅。微米级读数显微镜测量结果表明, 网栅均匀, 周期误差小于 $\pm 3\%$, 达到设计要求。

关键词: 凹球面网栅; 激光直写; 实时控制; PMAC; DPRAM

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Real-time control method for laser direct writing mesh on the concave spherical substrate

LIANG Feng-chao^{1,2}, HU Jun¹, XU Zhi-jun¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Real-time control method for laser direct writing mesh on the concave spherical substrate was brought forward in this paper. The method was based on Dual-Ported RAM (DPRAM) and was accomplished by adopting the control method of dual CPUs' (computer and PMAC) parallel running, bi-direction communication, exchanging data or commands immediately, and also by developing the relevant nesting programs. Consequently, the control parameters and the state information between the computer and PMAC could be dealt with, exchanged and displayed real-timely. So, the real-time control method for laser direct writing mesh on the concave spherical substrate was realized. After coating uniform thickness film of photoresist on the concave spherical substrate made of glass with $\Phi 200$ and a radius equal to 150 mm, mesh with 100 μ m periods were fabricated on the substrate by applying the real-time control method to the laser direct writing system. After development and fixation, the error of gridding periods measured by micron level reading measure microscope are within $\pm 3\%$, which satisfies the design requirement.

Key words: Concave spherical mesh; Laser direct writing; Real-time control; PMAC; DPRAM

引 言

凹球面激光直写系统的应用之一是在大口径凹球面基片上制备周期纬线^[1], 而采用周期纬线纬纬相交的方法即可形成网栅图形, 即激光直写一个方向上的周期纬线后将凹球面基片旋转 90° , 再激光直写另一个方向上的周期纬线, 两个方向上的周期纬线相交便形成了网栅图形。凹球面激光直写系统的设计要求凹

收稿日期: 2006-06-09; 收到修改稿日期: 2006-09-13

基金项目: 国防科技预研基金项目

作者简介: 梁凤超(1978-), 男(汉族), 吉林松原人, 博士生, 主要研究方向为伺服控制技术和光电传感与测控技术。

E-mail: liangxfile@yahoo.com.cn

球面基片通光孔径大于或等于 200mm, 曲率半径大于等于 150mm, 网格周期 100~600 μm 可调。周期越小周期纬线数目越多, 控制参数也随之增多, 这使得在执行激光直写运动程序过程中需要实时处理大量控制参数并查询显示大量的工作状态信息, 另外还要实时控制激光快门等外围电路。如果不采取理想的实时控制方法, 必将影响运动程序的实时性。针对凹球面激光直写系统的特点提出了一种基于 DPRAM 的双 CPU 并行实时控制方法, 这种控制方法是凹球面激光直写控制系统的难点之一。

1 网栅激光直写过程

由于凹球面网栅由两个方向的周期纬线相交形成, 每个方向的周期纬线制备算法相同, 故只给出了一个方向的周期纬线激光直写过程, 如图 1。垂直轴 $V-V'$ 、激光笔光轴 $C-C'$ 和工件中心轴 $D-D'$ 相交于球心 O , R 为凹球面半径, θ 为网格周期, S_i 为第 i 条纬线的弧长, ω_i 为第 i 条纬线的扫描曝光角速度, 它随纬度变化而保持线速度恒定^[2], ΔS_i 为从第 i 条纬线终点定位到第 $i+1$ 条纬线起点的边缘补偿弧长。聚焦光斑起始于零点 (X_0, Y_0) , 沿箭头方向定位到第 i 条纬线起点, 以

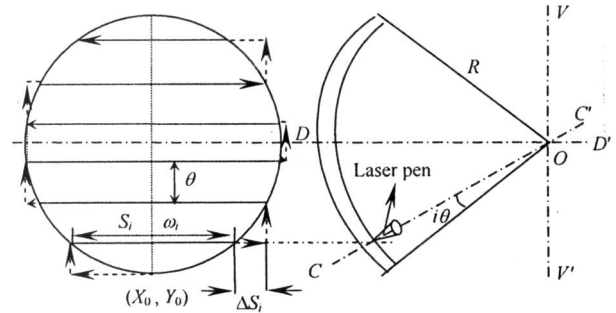


图 1 凹球面激光直写周期纬线过程

Fig.1 Process of laser direct writing periodical latitude lines on the concave spherical substrate

角速度 ω_i 扫描弧长 S_i 完成第 i 条纬线激光直写, 再扫描弧长 ΔS_i 后向上运动周期 θ 定位到下一条纬线起点, 反方向扫描激光直写下一条纬线, 如此反复直到完成本方向上所有纬线的激光直写。凹球面旋转 90° 后光斑快速返回起始点 (X_0, Y_0) , 应用同样算法激光直写此方向上的周期纬线, 两方向的周期纬线相交形成网栅。

2 实时控制的难点分析

运动控制的核心器件为美国 DELTA TAU 公司的 PMAC 可编程多轴运动控制器。如果把经计算后的纬线控制参数存储到 PMAC 的变量中, 则在执行运动程序时 PMAC 会直接调用, 可省去实时计算参数的时间和传送过程。而 PMAC 的 P 、 Q 和 M 变量分别只有 1024 个^[3], 可用来分别存储 S_i 、 ω_i 和 ΔS_i 三个参数, 但如果纬线数达到或超过 1024, PMAC 将不能存储所有的纬线控制参数。以半径 150mm、通光孔径 200mm 的凹球面为例, 当网格周期 213 μm 时, 每个方向的周期纬线就达到 1026 条。可见采取 PMAC 自身变量存储所有控制参数的实时算法会对 PMAC 变量数量有依赖性, 难以实现周期 100~600 μm 可调的设计指标。

激光直写过程中需要实时显示运动状态, 这就需要实时查询电机的速度、位置等信息。通常是通过 PC BUS 给 PMAC 发送查询命令后等待响应。响应过程很耗时, 这会直接影响 PMAC 执行运动程序的实时性。另外, 激光直写过程中, 需要根据运动状态来控制激光快门等其它外围电路。依据实时控制激光直写的技术要求, 必须找到一种能够实时给出激光直写状态信息、实时控制外围电路而又不影响运动程序执行的实时控制方法。

3 实时控制方法

3.1 DPRAM 通讯方式

PMAC 提供了 3 种与计算机通讯的方式, 即总线方式、串行方式和 DRAM 方式。其中 DPRAM 方式功能最强、使用最灵活。DPRAM 实际上是计算机和 PMAC 共享的数据缓冲块, 数据和命令能极快的进出 DPRAM, 双方都可以把数据放入其中, 也可以从中取出数据, 就像从本地存储器读写数据一样, 是一种非常高效安全的数据传送方式。DPRAM 的典型应用是在计算机写出时, 将位置数据和程序参数快速下载到 PMAC 中; 计算机读入时, 快速反复从 PMAC 得到电机的位置、速度和跟随误差等信息。采用 DPRAM 作为计算机和 PMAC 之间的桥梁, 省去了通过通讯端口发送命令并等待回答的“握手”时间, 在传输同样的数据时可以更快, 实现计算机与 PMAC 之间的高速数据交换。

对计算机而言, DPRAM 是 $8k \times 16$ 位字的内存。计算机访问 DPRAM 的地址换算关系如下:

$$HA = HSA + 4(PA - \$D000) + OFST \quad (1)$$

式中 HA 为计算机地址, HSA 为计算机开始地址, PA 为 PMAC 地址, $OFST$ 为地址偏移量。DPRAM 分为 X 内存和 Y 内存, $OFST=0$ 则访问 Y 内存, $OFST=2$ 访问 X 内存, 也可通过定义实现 X、Y 内存合并作为双字使用^[4]。PMAC 的 DPRAM 内存地址从 $\$D000$ 到 $\$D1FF$ 保留作固定用途, 而从 $\$D200$ 到 $\$DFFF$ 是开放给用户作通用内存的范围。从 PMAC 访问 DPRAM 一般通过定义 M 变量, 例如定义 $M2 \rightarrow DP:\$D202$ 之后, 变量 $M2$ 就指向 DPRAM 的 $\$D202$ 地址的双字, 并可以应用在运动程序中被访问读写。按式(1)可计算出 $M2$ 对应的计算机地址为 $0xD8808$, 故计算机通过定义指针变量 $\text{int } *m_pM2 = (\text{int}*)(0xD8808)$ 即可访问 DPRAM 的 $\$D202$ 地址, 即与上面定义的 $M2$ 指向同一 DPRAM 内存地址, 计算机与 PMAC 对此地址的分时访问读写能够实现计算机与 PMAC 之间的信息快速交换。

3.2 双 CPU 主从控制方式

采取图 2 所示计算机与 PMAC 组成的双 CPU 主从控制方式。计算机完成参数录入和状态实时显示, PMAC 完成伺服输出和快门监控, DPRAM 作为计算机与 PMAC 共享的内存实现控制参数和状态信息实时传递。控制参数算好后保存在计算机内存, 在激光直写每条纬线之前将本条纬线控制参数传递给指向 DPRAM 的 M 变量, PMAC 执行运动程序时读取 M 变量中的控制参数, 实现参数的快速传送。这种方法, 实际上是 M 变量的时分复用技术, 即同一个 M 变量在激光直写不同的纬线时保存的参数不同, 此技术可以只用很少的 M 变量来完成大量参数的传送, 避免了算法对运动控制器变量数目的依赖。在运动程序执行的同时, 状态信息实时更新并通过 M 变量保存到指定的 DPRAM 内存, 计算机实时读取相关 M 变量并显示; 同时 PMAC 的 PLC 程序在后台实时监控快门开关信号并执行快门的开关操作。

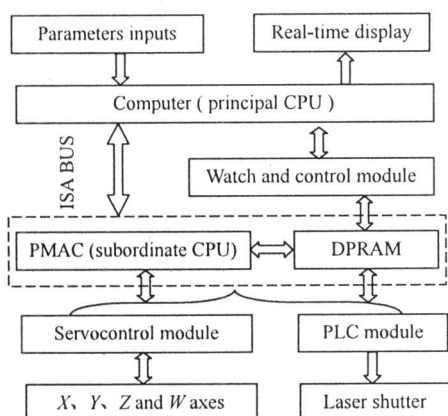


图 2 双 CPU 主从控制方式

Fig. 2 Control method of principal and subordinate CPU

表 1 M 变量定义及计算机访问地址

Table 1 Definition of M-variables and the access address for the computer

PMAC address	Definition of M-variables	Host address
0xD200	$M0 \rightarrow DP:\$D200$	0xD8800
0xD201	$M1 \rightarrow DP:\$D201$	0xD8804
0xD202	$M2 \rightarrow DP:\$D202$	0xD8808
0xD203	$M3 \rightarrow DP:\$D203$	0xD880C
0xD204	$M4 \rightarrow DP:\$D204$	0xD8810
0xD205	$M5 \rightarrow DP:\$D205$	0xD8814
0xD206	$M6 \rightarrow DP:\$D206$	0xD8818
0xD207	$M7 \rightarrow DP:\$D207$	0xD881C

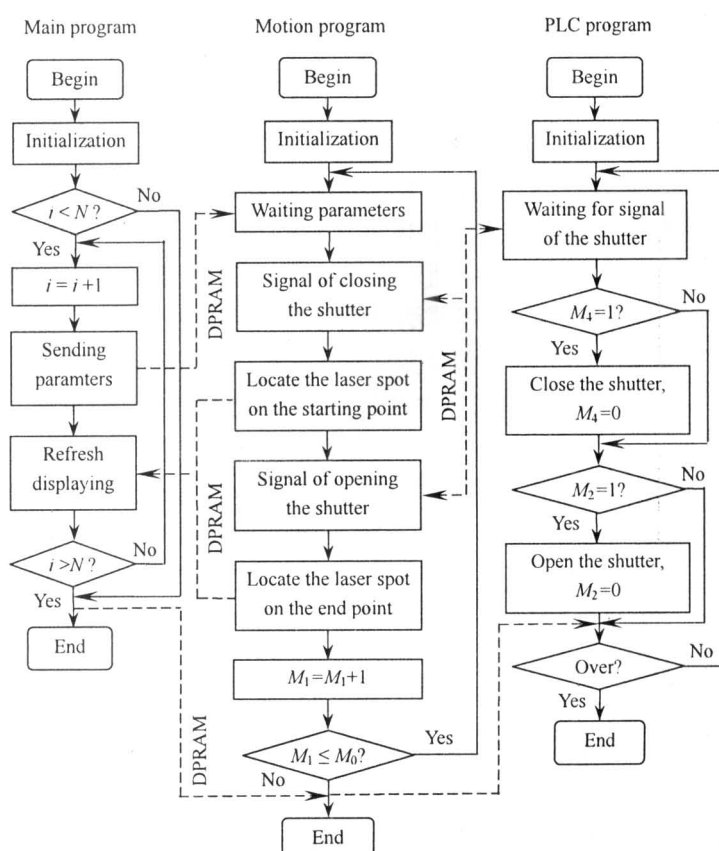


图 3 实时控制程序流程

Fig. 3 Flowchart of the real time control programs

3.3 实时控制的程序实现

凹球面激光直写实时控制程序包括上位机主程序、下位机运动程序和下位机 PLC 程序, 三程序并行并通过 DPRAM 进行数据信息的实时交换。上位机主程序总体控制激光直写过程, 实时发送纬线控制参数, 实时采集并显示运动状态。下位机运动程序完成伺服输出, 实现凹球面网栅的激光直写并给出快门开关信号。下位机 PLC 程序实时监测快门开关信号, 配合运动程序实时控制激光通断。图 3 为以上并行程序总体流程结构, 虚线表示并行程序之间信息及数据联系, 可见各程序之间的联系均通过 DPRAM 实现。图中 i 为纬线序号, N 为纬线总数。 M_0 和 M_1 为 M 变量, M_0 用来保存纬线总数, M_1 保存当前纬线序号。运动程序还需要的其他 M 变量, 如开快门信号 M_2 , 角速度 M_3 , 关快门信号 M_4 , 纬线弧长 M_5 , 俯仰速度 M_6 , 周期 M_7 。以计算机开始地址为 0xD8000 为例, 所需 M 变量具体定义及计算机访问的地址见表 1。

结束语

在口径 200mm, 半径 150mm 的玻璃凹球面基底上均匀涂覆正定型感光胶后, 应用凹球面网栅激光直写实时控制方法制备 100 μ m 周期的网栅^[5-8], 每个方向上纬线总数为 2188, 扫描线速度为 20mm/s, 系统稳定运行 9 小时完成激光直写。显影、定影后由读数显微镜测得网格周期均匀, 误差小于 $\pm 3\%$, 满足设计指标。图 4 为高倍放大后的凹球面网栅局部照片。

凹球面网栅激光直写实时控制方法, 采用基于 DPRAM 的双 CPU 主从控制方式, 实现了计算机和 PMAC 数据的快速互访, 避免了算法对 PMAC 变量数量的依赖, 应用于实践已经制备出了符合设计要求的周期 100~600 μ m 的凹球面网栅。

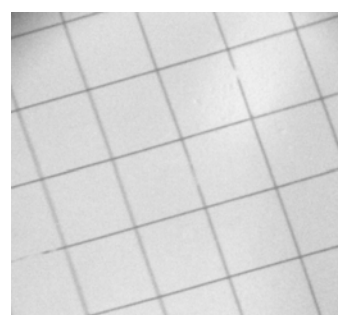


图 4 凹球面网栅

Fig.4 Mesh on the concave spherical substrate

参考文献:

- [1] 胡 君, 梁凤超, 熊木地, 等. 影响球面激光直写线宽均匀度的关键技术[J]. 光电工程, 2006, **33**(3): 1-4.
HU Jun, LIANG Feng-chao, XIONG Mu-di, et al. Key techniques influencing the linewidth evenness grade with laser direct writing on the spherical surface [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2006, **33**(3): 1-4.
- [2] Fengchao LIANG, Jun HU. Key techniques of laser direct writing of fine lines on the spherical surface [J]. **SPIE**, 2006, **6034**: 120-126.
- [3] Delta Tau System Inc. PMAC Software Reference [Z]. California, USA: Delta Tau System Inc, 2003.
- [4] Delta Tau System Inc. PMAC Dual-Ported RAM User Manual [Z]. California, USA: Delta Tau System Inc, 2003.
- [5] 冯晓国, 方 梁, 孙连春. 金属网栅结构参数设计与制作[J]. 光学精密工程, 2005, **13**(1): 59-64.
FENG Xiao-guo, FANG Liang, SUN Lian-chun. Characteristic dimension design and fabrication of metallic mesh [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2005, **13**(1): 59-64.
- [6] Y. XIE, Z. LU, F. LI. Fabrication of large diffractive optical elements in thick film on a concave lens surface [J]. **Optics Express**, 2003, **11**: 992-995.
- [7] 刘立鹏, 周 明, 戴起勋, 等. 飞秒激光三维微细加工技术[J]. 光电工程, 2005, **32**(4): 93-96.
LIU Li-peng, ZHOU Ming, DAI Qi-xun, et al. Three-dimensional micro-fabrication by femtosecond laser [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2005, **32**(4): 93-96.
- [8] 何世平, 叶 超, 谢永军, 等. 一种可控曲面光栅的研制[J]. 光学精密工程, 2006, **14**(2): 197-201.
HE Shi-ping, YE Chao, XIE Yong-jun, et al. Fabrication of a controllable curved surface grating [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2006, **14**(2): 197-201.