无油墨印刷包装材料激光制版机的设计

殷庆纵¹、刘吉²

(1. 苏州工业职业技术学院, 苏州 215104; 2. 苏州印象镭射有限公司, 苏州 215004)

摘要:为了生产大尺寸的激光防伪包装材料,开发了高速激光制版机。该设备动态曝光的工作方式,克服了影响工作台定位精度的多种因素。以工控机为上位机,以运动控制器 PMAC 和单片机 STC12C5410AD 为下位机,结合直线电机技术,实现了高速高精度定位。工作速度提高了 10 倍以上,有效提高了全息母板制作的效率。

关键词: PMAC; 激光直写; 直线电动机; 光刻; 光栅; 单片机

中图分类号: TS803.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2013)13-0112-05

Design of Laser Platesetter for No Ink Print Packaging Material

 $YIN \ Qing-zong^1, \ LIU \ Ji^2$

(1. Suzhou Institute of Industrial Technology, Suzhou 215104, China; 2. Suzhou Yinxiang Leishe CO., LTD., Suzhou 215004, China)

Abstract: In order to produce large-size laser anti-counterfeiting packaging materials, a high-speed laser platesetter was developed. The laser platesetter working in dynamic exposure mode overcomes the effect of influencing factors on work station positioning accuracy. High speed and high precision positioning was realized by using industrial computer as host computer, motion controller PMAC and MCU STC12C5410AD as lower machine, and linear motor technology. Working speed is improved more than 10 times, which effectively improves the production efficiency of holographic plate.

Key words: PMAC; laser direct writing; linear motor; lithography; grating; MCU

近年来,包装印刷行业已逐渐成为我国国民经济支柱产业之一。由于传统的油墨印刷包装材料对环境的污染较大,其中的绝大部分逐渐会被无油墨印刷包装材料所取代。无油墨印刷包装材料是一种采用模压的方法将模板上的激光全息图像与文字压印到塑料、金属薄膜或其他载体上的一种新型包装材料,能有效减少对环境的污染和提高防伪能力[1]。传统的激光制版机采用静态曝光的工作模式,工作效率低,难以实现大尺寸包装材料的制作。笔者介绍了一种 PC+PMAC 运动控制卡+单片机的控制模式,采用动态曝光技术的激光制版机[2],使光刻工作速度提高了10倍以上,为制作大尺寸的防伪包装材料提供了制作设备,有效提高了防伪包装材料制作的技术水平。

1 激光制版机的工作原理与主要技术指标

1.1 激光制版机的工作原理

激光制版机制作激光全息母板是通过点-线-面构

成一幅画面,2 台直线电机驱动 X-Y 工作台分别在 X 轴与 Y 轴方向上位移,以双向逐行扫描的方式工作^[3-4]。首先系统位置初始化,读第一行图像与文字信息,运行 X-Y 工作台,转动光栅角度,检测到曝光位置时触发激光器对光刻胶感光,关闭激光器,转动光栅角度,检测到曝光位置时触发激光器对光刻胶感光,关闭激光器,直致 X 轴方向走完一行,然后 Y 轴方向上移动一个步距,如此交替进行,直到一幅画面完成。精细激光束直接在光刻胶表面刻出微细的衍射光栅(精细条纹),该衍射光栅记录了三维的图文信息和动态变化的时空信息,再通过显影、电铸、模压、镀铝形成全息母板,机械模压设备利用该全息母板可制作所需的防伪包装材料。

1.2 激光制版机的主要技术指标

激光制版机的主要技术指标有:①光刻定位精度 $\pm 0.5 \mu m$;②光刻精度 2540 dpi(最大);③光刻速度 $50 \sim 500 \text{ 点/s}$;④制作尺寸 $1000 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ 。

收稿日期: 2013-03-14

作者简介:殷庆纵(1956-),男,苏州工业职业技术学院副教授,主要研究方向为嵌入式系统应用、智能仪器、自动控制。

2 激光制版机的硬件设计

激光制版机硬件包括 X-Y 工作台(X-Y 直线电机、X-Y 光栅尺)、伺服系统(PMAC 运动控制、X-Y 轴直线电机控制器、交流伺服控制器、交流伺服电机、光栅)、曝光控制(X-Y 正交脉冲计数处理电路、单片机、激光器)、自动调焦机构(调焦检测、Z 轴位移调节)、计算机等组成^[5-6],激光制版机结构示意图见图 1,控制数据流向见图 2。

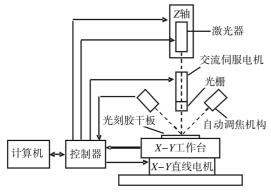


图 1 激光制版机结构

Fig. 1 Schematic configuration of the laser platesetter

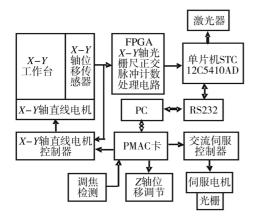


图 2 激光制版机控制数据流向

Fig. 2 Laser platesetter control data flow

2.1 伺服系统的设计

2.1.1 PMAC 运动控制器

PMAC 是美国 DeltaTau 公司推出的开放式可编程多轴运动控制器,采用 Motorola DSP 56001/56002数字信号处理器作为 CPU,集运动控制和 PLC 控制于一体,适应多种硬件操作平台,可用于控制普通的交直流电动机、伺服电动机、步进电动机和直线电动

机等。PMAC 具有优秀的插补计算、伺服和 I/O 接口等实时控制能力,可同时操纵 1~8 根轴。采用 PID 位置伺服算法作为核心控制算法,与几种先进的 PID 控制算法结合实现系统的精确定位。具有优先级自动判断,能够进行实时的多任务处理。PMAC 采用开放式平台,可用 G 代码, C 或 BASIC 语言等多种语言进行编程。可执行运动程序、PLC 程序,伺服环更新,可通过串口、总线等与主计算机进行通信。控制程序采用可视化编程软件 Visual C++6.0 开发,通过 USB 口与 PC 机通信。

2.1.2 PMAC 运动控制器的 PID 调节功能

PMAC 运动控制器通过用户自己调整适当的控制变量完成各环节参数的选取,其 PID 位置伺服算法结构图见图 3。PMAC 运动控制器的 PID 位置伺服算

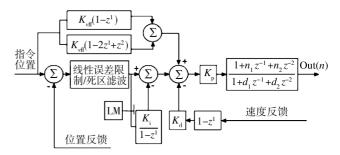


图 3 PMAC 运动控制器的 PID 算法结构

Fig. 3 PMAC motion controller PID algorithm structure

法是由以下几个算法的综合。1) 带死区的 PID 控制算法;2)积分分离 PID 算法;3) 遇限削弱积分 PID 控制算法;4) 速度前馈-反馈和加速度前馈-反馈控制。最后的输出控制量为:

Out(n) =
$$2^{-19} \cdot Ix30 \{ Ix08 \cdot [FE(n) + (Ix32 \cdot CV(n) + Ix35 \cdot CA(n)) / 128 + Ix33 \cdot IE(n) / 2] - Ix31 \cdot Ix09 \cdot AV(n) / 128 \}$$
 (1)

Out(n)为 16 位的伺服周期输出命令(-32768 ~ +32768)转换成-10 ~ +10 V 的输出;FE(n)为伺服周期n 内所得的跟随误差,即该周期内命令位置和实际位置的差值;AV(n)是伺服周期n 内实际速度,即每个伺服周期最后 2 个实际位置的差值;CV(n)是伺服周期n 内指令速度,即每个伺服周期最后 2 个指令位置的差值;CA(n)是伺服周期n 内指令加速度,即每个伺服周期最后 2 个指令位置的差值;CA(n)是伺服周期n 内指令加速度,即每个伺服周期最后 2 个指令速度的差值;DE(n)是伺服

周期 n 内跟随误差的积分,其值为: $\sum_{j=0}^{n-1} [FE(n)]$ 。 其他参见表 1 。

表 1	PMAC 运动控制器 PID 相关变量及意义
T	Cab. 1 PMAC motion controller PID
	variables and significance

变量	参数
Ix08	电机 x 位置比例系数
<i>Ix</i> 09	电机 x 速度比例
<i>Ix</i> 30	电机 x PID 比例增益
<i>Ix</i> 31	电机 x PID 微分增益
<i>Ix</i> 32	电机 x PID 速度前馈增益
Ix33	电机 x PID 积分增益
Ix35	电机 x PID 加速度前馈增益

2.1.3 X-Y工作台控制

X-Y工作台采用直线电机驱动的全闭环系统。由 X-Y 轴位移传感器(光栅尺)、X-Y 光栅尺正交脉冲计数处理电路、X-Y 运动控制电路、X-Y 轴直线电机控制器和 X-Y 轴直线电机构成。光栅尺采用的是英国RENISHAW 公司的 RGH25 型光栅尺,分辨率为 0.1 μm;直线电机采用美国 Parker Hannifin 公司生产的Trilogy 直线电机,型号为 310-3M-NC-WD3S-8;直线电机驱动器采用的是美国 Copley 公司生产的,型号为 XSL-230-40。

2.1.4 光栅旋转的控制

3D 图像携带有位相(立体感)信息,这点与 2D 图像不同,根据全息学理论,图像强度和位相信息可 用微小光栅来表达,通过各种不同微小光栅组合,可 部分实现 3D 图像的数字化。每点图像像素的灰度值 与光栅旋转的角度相对应,当图像为黑色时,旋转的 角度是+90°,当图像为白色时,旋转的角度是-90°,光 栅每次旋转的角度在 0~180°之间,通过 PMAC 运动 控制器输出与图像像素的灰度值对应的角度信号,交 流伺服控制器控制交流伺服电机,带动光栅旋转,把 图像像素的灰度值转换为光栅旋转的角度信号。交 流伺服控制器采用"符号+脉冲"的工作方式。在图 4 中,交流伺服控制器的 PULS、/PULS 是脉冲输入端, 图像像素的灰度值对应的角度从 GPIOB8 脚以脉冲 的形式输出(每个脉冲使光栅旋转 180°/255 = 0.706°),把图像信号转变为角度信号。SIGN、/SIGN 是符号输入端,当为高电位时,控制伺服电机正转,低 电位时控制伺服电机反转。

2.2 曝光控制电路

2.2.1 正交脉冲计数处理电路

选用 Altera 公司的 FPGA (EP3C80F484),用

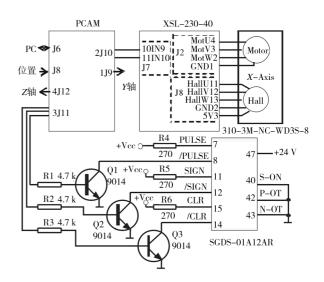


图 4 X-Y 工作台与交流伺服控制电路 Fig. 4 X-Y table and AC servo control circuit

VHDL 语言实现正交脉冲计数处理电路,用于控制 X-Y工作台和曝光电路。正交脉冲计数处理电路由数字滤波与细分辨向电路、32 位可逆计数与数据锁存电路、接口处理电路构成,可同时接收两路(X 轴、Y 轴)正交脉冲,正交脉冲计数处理电路见图 5。

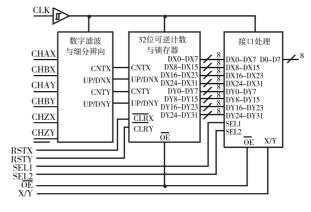


图 5 正交脉冲计数处理电路

Fig. 5 Orthogonal pulses count processing circuit

X 轴与 Y 轴光栅尺输出的正交脉冲信号由CHAX,CHBX,CHAY,CHBY 端输入,经数字滤波与细分辨向电路后,小于 1 V 的低电平噪声和高电平、持续时间短的噪声被滤除。然后经过细分与辨相,正交脉冲信号 CHAX,CHBX 经细分辨向后从 CNTX 信号端输出细分脉冲,UP/DNX 端输出方向信号,UP/DNX高电位表示 X 轴光栅尺正向运动,低电位表示光栅尺反向运动。当方向信号 UP/DNX 为高电平,对应的32 位可逆计数器作加法计数器;当方向信号 UP/DNX

(或 UP/DNY)为低电平,对应的 32 位可逆计数器作减法计数器。对应 X 轴的 32 位可逆计数器数据从锁存器 DX0-DX7, DX7-DX15, DX16-DX23 和 DX24-DX31 输出。接口处理电路的输入信号分别定义为 DX0-DX31, DY0-DY31、数据字节选择端 SEL1, SEL2、读控制信号 \overline{OE} , X 轴 Y 轴选择端 X/Y, X 轴计数器和锁存器复位端 \overline{RSTX} , Y 轴计数器和锁存器复位端。接口处理电路的输出数据线 8 位 D0-D7, 因此 32 位的数据需要通过改变输出数据字节选择端 SEL1, SEL2 的值分 4 个字节依次读出。当 X 轴 Y 轴信号选择端 X/Y=1, SEL1, SEL2 为 DX160, DX161 时,分别读出数据 DX0-DX7, DX7-DX15, DX16-DX23 和 DX24-DX31。

2.2.2 曝光电路

为了保证动态曝光的要求,使用了单片机 STC12C5410AD 实现曝光点位置的检测和激光器曝光,该单片机采用增强型 8051 内核,速度比普通 8051 快 8~12 倍。激光器选用美国光波公司生产的半导体激光器,型号是 AWAVE-351-100mW-1K,该激光器曝光时间小于 50 ns,满足小于 0.2 μs(工作台运动速度 0.5 m/s)的要求。当单片机 STC12C5410AD 从FPGA 构成的正交脉冲计数处理电路的数据输出端 D0-D7 检测到曝光位置时,从 P3.2 脚输出低电平,经74HC04 反相后,控制激光器曝光。曝光控制电路见图 6。

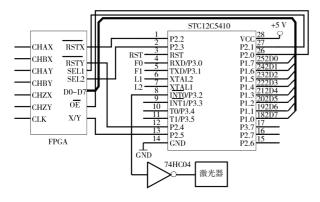


图 6 曝光控制电路

Fig. 6 Exposure control circuit

2.3 调焦机构与控制

由于光刻胶干板表面存在凹凸,会影响激光光斑的大小,因此,设计了由 Z 轴电机和自动调焦传感器电路组成的自动调焦机构,通过自动调焦机构动态调整光刻时的激光调焦位置,保证激光光斑的大小一致。

3 软件设计

软件设计涉及到 PMAC, STC12C5410AD 和上位机 PC 控制程序的设计。

PMAC 卡要完成 X-Y 工作台的运行控制和光栅旋转角度的控制,采用 PVT 运动模式,用户通过指定终止位置或距离,终止速度和时间段,可以实现工作台的双向逐行运动控制。通过上位机编程,把图像像素的灰度值对应光栅旋转的角度值下载到 PMAC 卡中,实现光栅旋转角度的控制。

STC12C5410AD 的程序设计主要包括主程序、上位机通信子程序、曝光位置控制子程序。由于采用动态曝光,对实时性要求很高,程序需要进行优化,检测曝光位置并控制激光器曝光所用的时间要控制在10μs内完成。主程序主要实现单片机的初始化,包括引脚初始化、中断初始化、相关参数初始化、调用子程序完成曝光控制等,其主程序流程见图7。与上位机

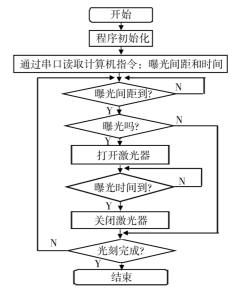


图 7 STC12C5410AD 主程序流程

Fig. 7 Flowchart of STC12C5410A D main program

通信子程序主要完成 STC12C5410AD 与上位机 PC 的通信,曝光位置控制子程序控制激光器在规定的位置曝光或不曝光,以及曝光时间的长短。

采用可视化编程软件 Visual C++ 6.0 平台开发控制系统的上位机 PC 控制程序,实现 PC 机与 PMAC 和单片机的通信,实现可视化控制^[7-8],激光制版机的控制软件界面见图 8,主要将系统操作界面显示在平面上,为操作者提供一个直观的操作环境,主要包

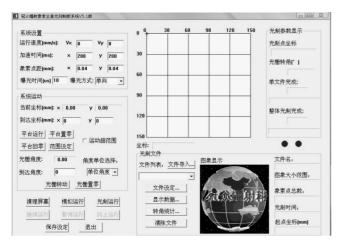


图 8 控制软件界面

Fig. 8 Interface of controlling software

括系统参数设置、加工控制、文件管理、图形显示、激光控制等。

4 结论

介绍的 PC+PMAC 运动控制卡+单片机的激光制版机,采用了动态曝光的工作方式,定位精度优于±0.5 μm,使光刻的速度提高了 10 倍以上,制作的防伪商标尺寸可达到 1000 mm×800 mm,解决了大尺寸激光全息防伪包装材料制作难的问题,有效提高了激光防伪包装材料制作的技术水平。该激光制版机已为国内很多著名产品制作了防伪包装材料,并销往多个国家。

参考文献:

- [1] 王莉,龚文才. 包装印刷对环境的污染及治理措施[J]. 包装工程,2007,28(11):201-204.
 WANG Li, GONG Wen-cai. Environmental Pollutions of Package Printing and Solving Countermeasures[J]. Packaging Engineering,2007,28(11):201-204.
- [2] 白雪梅,安志勇,宋亮. 基于 PMAC 卡的控制算法研究 [J]. 微计算机信息,2009(5):50-52.

YYYYYYYYYYYYYYYYYYYYY

BAI Xue-mei, AN Zhi-yong, SONG Liang. Research on the Control Algorithm Based on the PMAC[J]. Microcomputer Information, 2009(5):50-52.

相恒富,张立军.激光直写聚合物微流芯片精密实验台

- 设计[J]. 制造技术与机床,2009(5):70-73.

 XIANG Heng-fu, ZHANG Li-jun. Design of Precision Experimental Table on Laser Direct Writing Grooving Polymer
 -Based Micro-fluidic Chips[J]. Manufacturing Technology
- [4] 张山,谭久彬,网雷,等. 直角坐标激光直写的动态暴光模型[J]. 光学精密工程,2008(8):48-52.
 ZHANG Shan,TAN Jiu-bin,WANG Lei, et al. Dynamic Ex-

& Machine Tool, 2009(5):70-73.

posure Model of Laser Direct Writing in Cartesian Coordinate[J]. Optics and Precision Engineering, 2008(8):48-52.

- [5] 田会峰,刘文杰,董里. PMAC 运动控制器在光刻机控制系统中的应用[J]. 自动化与仪表,2008(2):55-59.

 TIAN Hui-feng, LIU Wen-jie, DONG Li. Application of PMAC Motion Controller on Laser Character Machine Control System[J]. Automation & Instrumentation, 2008(2):55-59.
- [6] 虞佳阳, 丁国清. 基于 PMAC 卡和直线电机的减震器测试系统研究[J]. 现代电子技术,2011,(1):28-31.
 YU Jia-yang, DING Guo-qing. Research on Shock Absorber
 Test System Based on PMAC and Linear Motor[J]. Foreign
 Electronic Measurement Technology,2011(1):28-31.
- [7] 李长林. Visual C++数据采集与串口通信测控应用实战[M]. 北京:人民邮电出版社,2010:169-178.

 LI Chang-lin. Visual C++Data Acquisition and Serial Communication and Control Applications Combat[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press,2010:169-178.
- [8] 龚建伟,熊光明. Visual C++/Turbo C 串口通信编程实践 [M]. 北京:电子工业出版社,2007:63-73. GONG Jian-wei, XIONG Guang-min. Visual C++/Turbo C Serial Communication Programming Practice[M]. Beijing: Electronics Industry Press,2007:63-73.

(上接第97页)

- [7] 张德丰. MATLab 神经网络应用设计[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

 ZHANG De-feng. MATLab Neural Network Application and Design[M]. Beijing: Machine Engineering Industry Press, 2009.
- [8] 智川. 关于颜色空间转换的 RBF 网络动态子空间自动划分辨识方法[J]. 包装工程,2012,33(1):105.
- ZHI Chuan. On Automatic Divesion and Identification Method of Dynamic Sub-space of RBF Network for Color Space Conversion[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1):105.

- [9] 刘浩学. 印刷色彩学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
 - LIU Hao-xue. Printing Chromatology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008.