

文章编号: 1001-3806(2007)04-0387-04

基于 DSP 和 CPLD 的激光飞动标刻研究

蔡 兵¹, 刘晓东^{1*}, 童 博¹, 谭星星², 陈彦丽³

(1. 华中科技大学 光电子科学与工程学院, 武汉 430074; 2 广东工业大学 计算机学院, 广州 510090; 3 西南石油学院, 成都 610500)

摘要: 为了达到快速、精确标刻的目的,提出了一种应用于生产线上运动工件的激光实时飞动标刻系统。该系统采用了数字信号处理和复杂可编程逻辑器件的动态跟踪技术的方法,解决了流水生产线上诸如标刻图形变形、错位、失真等激光加工问题,降低了由静止标刻加工给加工者所带来的劳动强度。以自行开发的激光标刻软件为应用实例,对同一图案在参数设定相同的情况下进行加工。结果表明,该系统能提高激光加工的生产效率,标刻速度达到 2000byte/s 所标刻图案线条清晰,轮廓分明,达到了静止标刻的效果。

关键词: 激光技术;飞动标刻;速度补偿;数字信号处理;复杂可编程逻辑器件

中图分类号: TG665 **文献标识码:** A

Study on laser flying marking systems based on DSP and CPLD

CAI Bing¹, LU Xiao-dong¹, TONG Bo¹, TAN Xing-xing², CHEN Yan-li³

(1. Institute of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. School of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China; 3. Southwest Petroleum Institute, Chengdu 610500, China)

Abstract: In order to achieve fast and high precision, a dynamic laser flying marking system equipped on product line was introduced based on digital signal processing (DSP) and complex programmable logic device (CPLD)'s dynamic tracing technology so that the problems in the course of laser process on product line, such as metamorphosis, dislocation, distortion was solved, and the labor degree of workers was decreased than the static marking system. Applying the software developed by ourselves, with the laser parameters' setting marking on the same object, it can be seen that the efficiency of laser marking was enhanced with a velocity up to 2000byte/s and the marking line and silhouette were very clear. To the same marking result was achieved on both the dynamic and the static marking systems.

Key words: laser technique; flying marking; velocity compensation; digital signal processing; complex programmable logic device's

引 言

激光飞动标刻是在激光静止标刻的基础上发展起来的,因此,其基本原理和实现方法都与静止标刻密切相关。本文中是根据在静止标刻加工过程所遇到的诸如加工效率低、加工劳动强度大、不能满足大批量生产等加工弊端而提出的激光飞动标刻系统。所实现的飞动标刻系统克服了静止标刻的不足和缺陷,能够应用于一些大量生产的加工,例如标刻厂家商标、生产日期、批号或厂家编制的密码等^[1]。在激光飞动标刻系统中,能否对加工速度参数进行实时的补偿、修正,是衡量飞动标刻系统好坏的一个重要指标。作者将先给

出系统结构及实现,然后对在线检测技术及参数补偿原理进行分析、研究并给出基于数字信号处理(digital signal processing, DSP)和复杂可编程逻辑器件(complex programmable logic device, CPLD)参数补偿的可行性方案,最后依据试验结果进行分析总结。

1 系统结构及工作原理

飞动标刻系统与静止标刻系统的主要部件如激光器、振镜控制器、控制电源和冷却装置等部分都相同,不同之处是工作台由原来的固定工作台变成了循环运动的传送带,多了一个用于检测工件运动的光电探测器。在传统的标刻系统中,图形字符处理、速度补偿、修正都是在上位机中进行^[2]。本文中所设计的飞动标刻系统,是放在下位机的 DSP 中进行的,其结构框图如图 1 所示。

该飞动标刻系统要能很好地完成所述功能和要

作者简介:蔡 兵(1982-),男,硕士研究生,现从事激光加工制造技术研究。

* 通讯联系人。E-mail: lxdwuhan888@163.com

收稿日期:2006-06-20;收到修改稿日期:2006-07-18

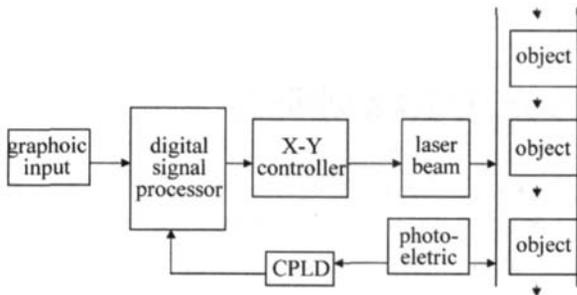


Fig 1 The structure of the flying marking system

求,则需要进行周密的总体结构设计,特别是基于数字信号处理器 DSP 的控制输出部分的设计是本设计的关键^[3]。图 2 是 DSP 部分的结构框图,也是本设计的

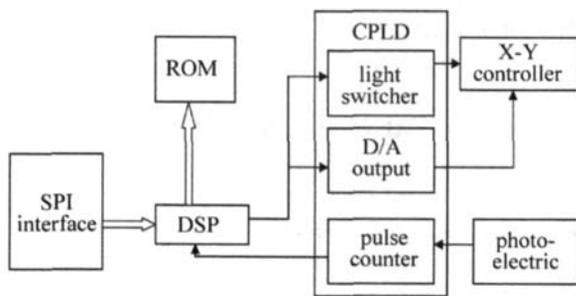


Fig 2 The fraction of DSP and CPLD

核心,该部分由控制模块、驱动模块、反馈模块组成。其中控制模块由 DSP、CPLD、只读存储器(read only memory, ROM)、开关光装置等单元构成;驱动模块由两路驱动电路组成,用于控制振镜控制器的 x 轴, y 轴;反馈模块由光电编码盘和 CPLD 组成。DSP 芯片采用的是 TI 公司的 TMS320C2812 产品, CPLD 采用的是 Altera 公司的 ERM7128SLC84 产品。

其中开关光控制块、D/A 控制输出模块、脉冲计数块都是由 CPLD 采用 QYARTYS5.0 软件进行编程实现的。该飞动标刻系统的工作原理如下:通过上位机设置标刻所需的一些诸如激光功率、标刻速度等加工参数以及激光开关光的控制指令,并通过串行外围接口(serial peripheral interface, SPI)发送给下位机的 DSP 芯片, DSP 接受到这些指令之后,将这些参数和控制指令送给 CPLD。可编程逻辑器件则根据这些参数和指令发出需要设置的输出激光功率、速度信息,并输出至振镜控制器。开关光控制模块用于控制激光的关断与开启;D/A 控制输出模块用于控制所标刻图文的位置信息;而脉冲计数模块则用于计算由光电编码盘产生的脉冲数,可以实现对光电编码盘输出的脉冲进行精确的计数,以实现加工工件速度准确的获取^[4]。当激光器在流水线上以一定加工参数工作时, DSP 会实时(以微秒级的间隔时间)查询来自 CPLD 和光电编码盘获取的加工速度,并将该速度数据与已经固化在 ROM 中的速度数据进行比较,如果发现偏差,

则根据相应算法对加工速度进行修正,并由 DSP 发出经过补偿的位置信息并及时传送到 CPLD 器件,最后输出至振镜控制器控制加工。

2 在线检测单元

飞动标刻是指在被标刻材料连续运动时,激光光束跟随材料运动而同步移动的标刻技术。为了实时获取标刻位置和达到飞动标刻效果,必须能够实时、精确获得材料运动产生的位移量和方向。目前市场上成熟的位移检测设备很多,考虑到现较流行的标刻系统和标刻控制卡,为了能够直接获得数字信号输出,本系统采用光电脉冲盘式传感器即光电编码器,它可以将位移偏转量变为电脉冲,然后通过 CPLD 对电脉冲进行截取计数,最后得到数字输出量。

光电编码器原理如图 3 所示。光电编码器是一种

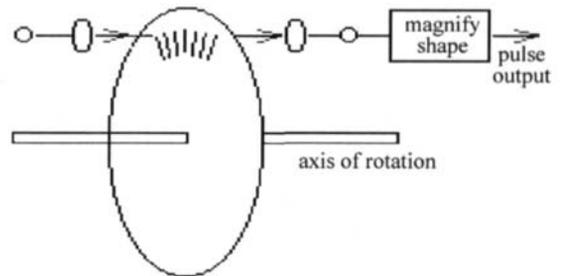


Fig 3 Structure of encoder

通过光电转换将输出轴上的机械几何位移量转换成脉冲或数字量的传感器。光电编码器是由光栅盘和光电检测装置组成,在编码器的光栅盘上等分地开通若干个长方形孔,光源发出的光经透镜聚焦后,然后再经圆盘的孔透过并再次通过透镜进行聚焦,最后被光敏元件接受。由于光电码盘与电动机同轴,电动机旋转时,光栅盘与电动机同速旋转,光源发出的光经光盘遮挡后交替的照射到光敏元件上,由光敏元件产生的电信号经放大整形电路处理后得到脉冲序列输出^[5]。最后由外围的计数电路记录产生的脉冲个数,就可以测得码盘的转角大小,最后由转轴直径即可以换算为加工工件的位移量,再通过计时电路的精确计时,从而可以计算出加工工件的速度。

除了能够实时动态地获取标刻速度量,同时还要求系统能自动识别加工工件的运动方向。为解决这一问题,码盘提供相位相差 90° 的 A、B 两路脉冲信号。当光电编码器的转轴运动时, A、B 两根线都产生脉冲输出,因为 A、B 两相脉冲相差 90° 相位角,由此可测出光电编码器转动方向。如果 A 相脉冲比 B 相脉冲超前则光电编码器为正转,否则为反转,这样就实现了方向的识别功能。

另外,为了能够将一组数据或图案准确地标刻在

快速运动着的产品上,还需要自动触发技术。自动触发技术就是为了检测到所标刻物品何时到达激光头下,以便能够将字符或图案准确的标刻在工件上。图 4 为光电触发装置的原理图,光源可以选定波长为

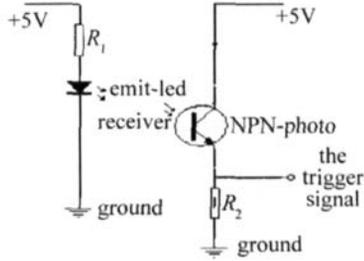


Fig 4 The principle of the optoelectronic-trigger

600nm~700nm 的发光二极管,接收电路可以选定可见光斑的光电三极管^[6,7]。当工件随着传送带过来时遮挡光线,接收电路发出信号,触发打标装置。

3 参数补偿算法

在每次标刻加工前,DSP按预先设定的标刻参数计算出用于控制光束偏转系统的静态位置坐标集 $\{ (X_{n0}, Y_{n0}) \}$ 。当利用激光静止标刻时,即加工工件不动,则按 $\{ (X_{n0}, Y_{n0}) \}$ 位置信息输出可以得到所要求的加工效果。当被加工工件在生产流水线上运动时,则必须实时的加入动态补偿量。加入动态补偿量后的光束偏转系统位置控制坐标应该表示如下^[8~10]:

$$\begin{cases} X_n = X_{n0} \\ Y_n = Y_{n0} + \beta \cdot \sum_{m=1}^n \Delta P_m, (n = 1, 2, 3, 4, \dots, n) \end{cases} \quad (1)$$

式中, X_{n0} 表示垂直于生产线运动方向第 n 个坐标位置, Y_{n0} 表示补偿前沿生产线运动方向第 n 个坐标位置, β 表示实际坐标与光束偏转系统控制坐标的转换系数。 ΔP_m 表示偏移量。

当加工工件连续运动时,以 CPLD 为核心的计数电路将光电编码器产生的位移脉冲进行累加计数,DSP 通过 SPI 定时获取位移累加值,折算成偏移量后再实施于振镜控制器。偏移量可用公式表示为:

$$\Delta P_1 = \begin{cases} (m_2 - m_1) \cdot L, (m_2 > m_1) \\ (m_2 + x - m_1) \cdot L, (m_2 < m_1) \end{cases} \quad (2)$$

式中, m_2 表示 DSP 本次获取的脉冲计数值, m_1 表示 DSP 上次获取的脉冲计数值, x 表示 CPLD 计数电路最大的计数值, L 则表示每脉冲代表的标刻工件位移长度。最后,通过时间可以计算出速度偏移量。

飞动标刻的效果跟具体补偿算法的实现有很大的关系,它是在静止标刻算法基础上加上特定的跟踪补偿算法而实现的。但是,在检测信号的处理、实际标刻输出的控制上与静止标刻有很大的不同。DSP 芯片软件算法和编程是整个系统软件设计的核心,系统采用

C2000 code composer studio DSP 集成开发环境,采用 C 语言和汇编语言混合编程,完成对 TMS320VC2812DSP 芯片的开发,实现标刻数据的控制和修正补偿功能。

通过对 CPLD 芯片采用 Verilog 语言编程实现逻辑时序,可将计数功能、置数功能和触发功能都集成在一块芯片内(如图 2 中的脉冲计数模块),从而实现稳定而灵活的控制,脉冲计数语句详见参考文献 [11] 和参考文献 [12]。

完成计数功能的时序如图 5 所示。图中信号 1 (clk_out) 是来自外部晶振的标准时钟脉冲,信号 2 (rst) 是开始计数的触发信号,信号 3 是截取的脉冲数(完成脉冲的计数)。

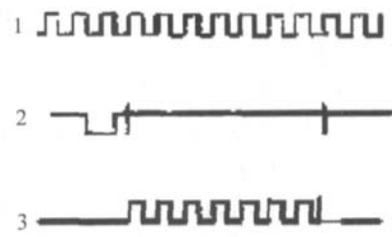


Fig 5 The count function of CPLD

以上仅分析了单轴飞动标刻系统运动方向的速度跟踪及补偿,对于双轴飞动标刻系统中的多方向运动,可采用由转动轨迹球带动两个相互垂直、分别对应于两轴的速度传感器,将两轴的速度信号合并就可得到实际运动的速度,其数据处理方法和控制与单轴相同。

4 试验结果

图 6a 和图 6b 是利用该激光飞动标刻系统对单个英文字母“a”进行标刻出来的实验结果图。试验中,

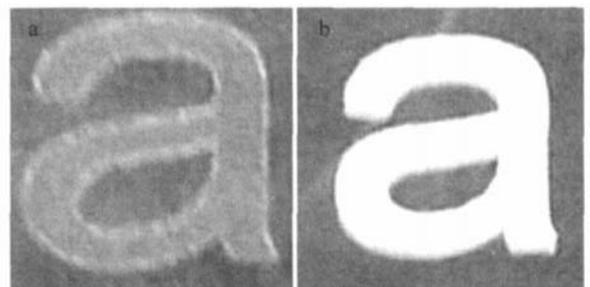


Fig 6 a—lack of velocity compensation b—velocity compensation

两图都是以相同的加工参数进行标刻所得,所设定标刻参数如下:激光电源电流为 10A、振镜速度为 500μs (以时间计算,在程序中设定)、Q 开关工作频率为 4kHz。图 6a 为传送带移动时无速度修正补偿标刻出的试验结果,字体已经失真变形,从左到右有明显的拉长迹象,边缘轮廓模糊不清。其变形程度与传送带移动速度有关,速度越快,变形失真就越严重,拉长现象也就越明显,当速度快到一定的程度时,将得不到完整的字符图案。图 6b 为在传送带移动的状态下,有速度

参数补偿时标刻出来的文字,标刻图案无失真,无拉长现象,边缘轮廓清晰,与工件移动速度无关。

5 结论

基于 DSP 和 CPLD 控制的激光飞动标刻系统通过对其标刻出的试验数据和结果分析可以发现:(1)该系统采用 DSP 和 CPLD 的动态跟踪补偿技术以及本身的飞动标刻特性,提高了加工效率,降低了劳动强度,在实际加工中能够运用与大批量生产场合。(2)利用在下位机 DSP 中进行实时的参数补偿功能能提高激光标刻图案的效果。在修正准确的情况下标刻出的文字没有变形失真,标刻出的图案光滑、细腻,图文清晰,能够达到与静止标刻相同的效果。(3)由于该系统是基于 DSP 和 CPLD 设计,其将参数补偿、修正等功能放在下位机的 DSP 中进行,而不需要在上位机中进行相关工作,减少了上位机工作的负担。因此,在系统任务多、系统资源紧张的情况下上位机可以进行其它的数据处理工作。(4)由于 CPLD 具有强大的在系统编程和快速有效的重新编程功能,因此,将其应用于激光飞动标刻系统具有开发周期短、设计灵活、控制方便等特点。

参考文献

- [1] ZHANG G Sh. The modern technology of laser manufacture [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006. 91~100 (in Chinese).
- [2] LI L, RONG T P, GUO Zh G *et al*. Application of AutoCAD in laser processing through the interface of DXF [J]. Laser Technology, 2005, 29 (1): 32~34 (in Chinese).
- [3] ZHANG W N. TMS320C28X DSP's CPU and peripheral [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. 79~119 (in Chinese).
- [4] LEI J Sh, HUANG Zh M, GUO Zh H *et al*. A laser marker controlled by single chip microcomputer [J]. Laser Technology, 2001, 25 (2): 140~142 (in Chinese).
- [5] SONG W X. The technologies of automatic detect [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2000. 197~216 (in Chinese).
- [6] JIANG S M. Protel 99 instances and exercises [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2000. 35~109 (in Chinese).
- [7] YU H, ZHAN Zh Q, WU W. Protel 98 interpret details [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000. 223~251 (in Chinese).
- [8] HUANG K J, ZENG D W, XIE Ch Sh. The effects of curvature radius and acting speed on the top kerf width of laser cutting of thin pipe with a small diameter [J]. Laser Technology, 2000, 24 (1): 51~54 (in Chinese).
- [9] WAN Zh, DU W X. Calibration of graphic distortion and compensation of exposure for dual galvanometer scanning [J]. Optics and Precision Engineering, 2000, 4 (2): 115~118 (in Chinese).
- [10] GUAN Zh Zh. The handbook of laser process arts [M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 1998. 347~355 (in Chinese).
- [11] WANG J M. The design of digital system and verilog HDL [M]. 2nd ed, Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005. 221~334 (in Chinese).
- [12] TAN H Q. The design of C programme [M]. 2nd ed, Beijing: Tsinghua University Press, 1999. 13~37 (in Chinese).

(上接第 386 页)

4 结论

采用投影机投射双频光栅傅里叶变换法,不但可以解决单频光栅所不能测量的物体有突变情况,而且比传统的物理光栅所要求的光路精度低得多,在抗干扰、实时方面更是传统方法所不能比的。实验表明,该方法不但可以很好地解决物体有突变情况,而且通过图 4i、图 4k 还可以明显地看出,单光栅所测的精度远远没有双频光栅的精度高。但是该系统在滤波方面目前还没有很好地解决,主要靠手工选择滤波窗口,笔者下一步将在设计自适应滤波器方面做进一步的探讨。

参考文献

- [1] SHAO Zh Y, ZENG Z W, TANG P. Research of non-contact laser digitizing collection and machining system [J]. Laser Technology, 2004, 28 (5): 524~526 (in Chinese).
- [2] DU L B, GAO X H, XIA J J *et al*. Research of a novel 3-D laser scanning system [J]. Laser Technology, 2005, 29 (4): 366~369 (in Chinese).
- [3] ZHAO J, ZHONG J G. Three-dimensioned shape measurement with digital projecting system [J]. Optical Technique, 2002, 28 (6): 555~558 (in Chinese).
- [4] TAKEDA M, MUTOH K. Fourier transform profilometry for the automatic measurement 3-D object shapes [J]. Appl Opt, 1983, 22 (24): 3977~3982.
- [5] JUDGE T R, BRYANSTON-CROSS P J. A review of phase unwrapping techniques in fringe analysis [J]. Optics and Lasers in Engineering, 1994, 21 (8): 199~239.
- [6] ZHANG H, LALOR M J, BURTON D R. Spatiotemporal phase unwrapping for the measurement of discontinuous objects in dynamic fringe-projection phase-shifting profilometry [J]. Appl Opt, 1999, 38 (16): 3534~3541.
- [7] LI F, ZHOU C L. A novel profilometry with dual-frequency grating [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34 (4): 632~635 (in Chinese).
- [8] XU P, CHEN W J, SU X Y. Higher-precision FTP based on digital light projecting [J]. Opto-electronic Engineering, 2005, 32 (11): 59~62 (in Chinese).
- [9] TIAN F, ZHAO H, CHEN W Y *et al*. A novel profilometry with projecting grating [J]. Acta Optica Sinica, 1996, 16 (10): 1506~1509 (in Chinese).
- [10] LI U H Q, CHEN W J, SU X Y *et al*. Fast Fourier transform profilometry based on two-frequency grating projection [J]. Opto-electronic Engineering, 2004, 31 (10): 39~42 (in Chinese).