

文章编号: 1001-3806(2012)06-0724-03

## 基于 DSP 的激光标记数字控制系统设计

赵元黎 周建涛 项寅

(郑州大学 物理工程学院, 郑州 450001)

**摘要:** 为了设计激光标记数字振镜控制系统, 采用数字信号处理器芯片作为数字控制板的主处理器, 使用具有高传输速率和支持热插拔的通用串行总线进行上位机与数字控制板的通信; 标记图形的数据处理算法由具有高速运算能力的数字信号处理器完成, 复杂可编程逻辑器件芯片完成控制信号的时序控制和输出, 使用传送差分信号的 RS-485 总线进行控制系统与数字振镜和激光器的通信。根据理论分析和参量模拟, 得到了对数字振镜的转动角度和激光器功率的高精度控制。结果表明, 该系统可以实现实时、高速、高精度的激光标记。

**关键词:** 激光技术; 激光标记; 数字振镜; 数字控制系统

中图分类号: TN249 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.06.003

### Design of laser marker digital control systems based on DSP

ZHAO Yuan-li, ZHOU Jian-tao, XIANG Yin

(School of Physics and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** In order to design a laser marking digital galvanometer control system, taking a digital signal processor (DSP) chip as the main processor of the digital control board, taking universal serial bus for the communication of the host computer and digital control board because of its high-speed transfer rate and hot-plug support, mark graphic data processing algorithms was completed by the high-speed DSP chip, and a complex programmable logic device (CPLD) was used to control the signal timing. For RS-485 bus can transfer differential signal, it was used to communicate between the digital galvanometer and laser. According to theoretical analysis and simulation, the rotation of digital galvanometer and laser power can be controlled with high-precision. The results show that this system can be applied for real-time, high-speed, high-precision laser marking.

**Key words:** laser technique; laser marker; digital galvanometer; digital control system

### 引言

激光标记是用激光束在各种材料表面打上永久的标记。与传统的标记方式相比, 具有速率快、精度高、成本低、与材料无接触、无污染、适用于自动化加工和特殊面加工等优势。目前振镜式扫描方式已成为激光标记行业公认的扫描方式<sup>[1]</sup>。

传统振镜采用模拟信号控制, 由于模拟信号抗干扰能力差, 现在越来越多地使用数字振镜。配合着数字振镜, 国外已经有专门控制数字振镜的数字控制卡, 但在国内, 大多是在以前的模拟控制卡的基础上, 添加一块数字模拟转换(digital analog converter, DAC)板卡, 将模拟控制卡输出的模拟信号转化为数字信号去控制数字振镜。这种“模拟控制卡+DAC板卡”的控制方式虽然

实现了数字控制的目的, 但并不是真正意义上的数字控制卡, 其结构复杂、成本高、速率慢, 容易引入干扰。

### 1 系统简述

作者在激光标记数字振镜控制方面开展了一些新的探索, 设计了一种数字振镜控制系统: 根据通用串行总线(universal serial bus, USB)的通用性、支持热插拔和高速数据传输速率, 以及数字信号处理器(digital signal processor, DSP)芯片强大的数据处理能力, 提出一种“上位机+USB总线+DSP控制板”的结构方式, 实现对数字振镜的转动速率和精度的控制, 同时降低系统的复杂度和硬件成本。本文中主要对决定激光标记速率和精度的 DSP 控制板的设计进行介绍。

### 2 硬件设计

图1所示为激光标记数字控制系统的硬件结构框图。个人计算机(personal computer, PC)提供系统的操作界面, 完成标记内容的编辑并将标记内容以一定的格式发给 DSP 控制板。DSP 控制板通过 USB 总线

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10974183)

作者简介: 赵元黎(1957-), 女, 教授, 现主要从事光学及智能仪器、自动控制系统的研究。

E-mail: yuanli8@zzu.edu.cn

收稿日期: 2012-03-27; 收到修改稿日期: 2012-04-25

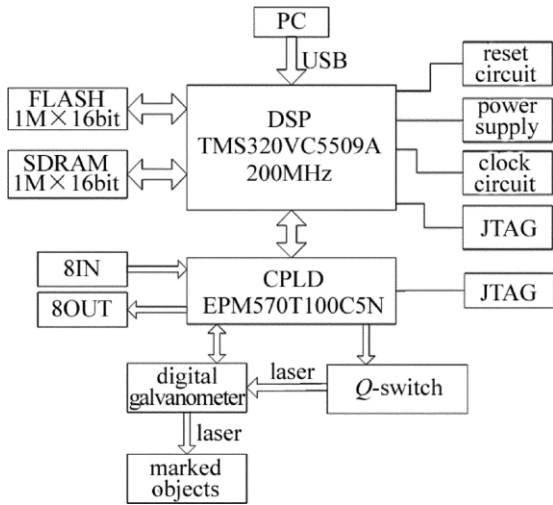


Fig. 1 Block diagram of system hardware

与 PC 机连接 实现高速通信。DSP 控制板接收 PC 机传输的标记内容 进行数据处理 如直线插补、误差校正、坐标变换等<sup>[2]</sup>；输出 4 路数字信号控制数字振镜的运动 输出 3 路信号(开关信号、首脉冲抑制信号和脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)波信号)控制激光的开关和功率大小<sup>[2]</sup>。同时利用复杂可编程逻辑器件(complex programmable logic device, CPLD)芯片的剩余引脚分别扩展了 8 路的通用输入/输出信号用于功能扩展。

DSP 控制板的主芯片选用主频为 200MHz 的 TMS320VC5509A。该芯片为高性能的定点处理器 内部有两个 20 位的高精度定时器 具有高达每秒钟 400 百万条指令(million instructions per second, MIPS)的处理能力<sup>[3]</sup>。主要的数据处理功能由 DSP 芯片负责 充分发挥了 DSP 芯片强大的数据处理功能。DSP 的外围电路包括存储系统电路、复位电路、电源控制电路、时钟电路、CPLD 逻辑控制模块等 由于此控制板为实验板 所以要添加联合测试行为组织(joint test action group, JTAG)端口。其中存储系统包括存储程序的闪存(flash EEPROM memory, FLASH)电路和存储中间数据的同步动态随机存储(synchronous dynamic random access memory, SDRAM)电路。

### 3 上位机与 DSP 的通信

USB 总线是一种通用串行总线 用于 PC 机与外部设备的连接和通讯。USB 接口支持设备的即插即用和热插拔 传输速率快。USB 总线相比起外设部件互连标准(peripheral component interconnect, PCI)、工业标准结构(industrial standard architecture, ISA)等总线 具有传输速率快、传输量大的优点 同时不用插在主机的主板上 通用性好、安装方便快捷<sup>[4]</sup>。

本系统选用的 TMS320VC5509A 芯片自带了速率

为 12Mbit/s 的 USB 总线功能<sup>[3]</sup> 方便和简化了系统的软硬件设计 并能节省开发费用和时间 只需将 USB 接口和 DSP 芯片上相关的 USB 信号线直接相连即可。控制卡可以与任何带有 USB 接口的主机相连 实现 PC 机与 DSP 之间的通信。

### 4 CPLD 逻辑控制

控制板卡与数字振镜的通信是按照 XY2-100 协议来实现的。对于 2 维振镜 需要 CLK 时钟、SYNC 同步、x-channel(x 轴转动角度)、y-channel(y 轴转动角度) 4 路信号来实现控制。其时序<sup>[5]</sup>如图 2 所示。

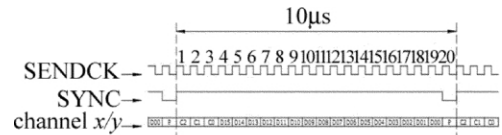


Fig. 2 Timing of the communication protocol

从图 2 中可知 振镜控制信号的时钟频率为 2MHz 每 10µs 发送一组 20 位的振镜控制数据 其中前 3 位为控制位 控制振镜的运动方向 中间 16 位为振镜的转动角度数据 最后一位为偶校验位。如果直接使用 DSP 来发送振镜控制信号 将会使 DSP 的程序复杂 同时 DSP 忙于信号的发送 而没有时间进行数据的高速计算。所以振镜的时序控制逻辑通过 CPLD 芯片来实现。

CPLD 选用 ALTERA 公司的 EPM570T100C5N 芯片 该芯片有 570 个逻辑单元 用户可自由定义的 I/O 脚 76 个<sup>[6]</sup>。系统设计中的激光器 Q 开关、PWM 波周期和占空比控制以及 16 路通用 I/O 接口都使用了 DSP 的 CE2 空间的地址 因此 需要对通过 DSP 地址总线输入的地址信息进行译码。通过判断输入到 CPLD 的 ADD [0:4]和 CE2 可以知道 DSP 正在访问的地址 进行寄存器地址译码 产生相应的控制信号。CPLD 中的寄存器的高地址都是一样的 通过低位地址值判断各个寄存器。其 10 个寄存器地址对应关系如表 1 所示。

Table 1 Registers addresses allocation

registers names	low order address values	meaning
test_led_reg	00000	test led address
l_on_reg	00001	Q-switch address
l_fps_reg	00010	laser first pulse suppression address
pwm_p_reg	00011	PWM period address
pwm_zkb_reg	00100	PWM duty cycle address
s_x_reg	00101	galvanometer x-axis rotation angle address
s_y_reg	00110	galvanometer y-axis rotation angle address
IO_in	00111	input ports address
IO_out	01001	output ports address

在 CPLD 中 每个寄存器都设置为 16 位 可以实现振镜转动角度和激光功率的精确控制。设计的标记

幅面为 100mm × 100mm ,振镜通过转动不同的角度 ,使激光光点可以打到标记幅面的所有位置。通过 16 位的振镜转动角度寄存器 ,理论的标记线宽可以达到  $100 \times \frac{1}{2^{16}} = 0.0015\text{mm}$  ,完全可以满足精确标记的需要。

对于激光功率的控制是通过 PWM 波实现的 ,PWM 波包含两个因素:周期和占空比。如果直接将周期和占空比的值从 DSP 发送到 CPLD ,需要发送周期数值和周期的单位 ,比较复杂 ,这可以在 DSP 中通过一定的算法进行简化。假设 CPLD 的时钟为 50MHz ,PWM 波的周期为 100μs ,占空比 33% 将 PWM 的周期  $T_{\text{PWM}}$  和占空比  $D_{\text{PWM}}$  都转化为 CPLD 时钟周期的个数 ,则:

$$T_{\text{PWM}} = 100 \times 10^{-6}\text{s} \times 50 \times 10^6\text{s}^{-1} = 5000 \quad (1)$$

$$D_{\text{PWM}} = T_{\text{PWM}} \times 33\% = 1650 \quad (2)$$

再将  $T_{\text{PWM}}$  和  $D_{\text{PWM}}$  的所占时钟个数 5000 和 1650 分别转化为 16 位的二进制数 0001001110000000 和 0000011001110010 ,通过 DSP 的 16 位数据总线发送到 CPLD 中 ,CPLD 根据周期和占空比的时钟个数输出 PWM 波 ,简化了传输和运算。同时 ,这种算法可以将占空比精确到  $\frac{1}{2^{16}} \times 100\% = 0.0015\%$  ,实现对激光能量的精确控制 ,从而达到高精度的标记。

基于 QUARTUS II 软件 ,运用超高速集成电路硬件描述语言编程 ,输出的控制振镜和激光器的仿真波形图如图 3、图 4 所示。

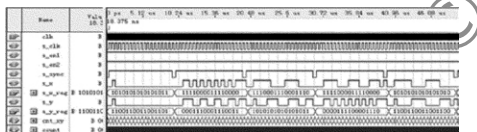


Fig. 3 Simulation fig of galvanometer control



Fig. 4 Simulation figure of laser

从图 3、图 4 中的仿真波形可以看出 ,可以将  $x$ 、 $y$  轴振镜转动角度和 PWM 波的周期、占空比设置为任意的 16 位二进制数 ,然后将这些数据由 CPLD 发送到振镜和  $Q$  开关 ,完成实时、高精度控制的目的。

### 5 控制板与数字振镜的通信

在数字振镜控制中 ,为了提高抗干扰能力 ,数字振镜采用差分信号控制 ,电压为 5V ,速率为 2Mbit/s<sup>[7]</sup> ,传输距离在 20m 以内。RS-485 总线通信速率为 10Mbit/s ,最大通信距离为 1200m<sup>[8]</sup> ,符合控制数字振镜的需要 ,因此 ,采用 RS-485 总线进行控制板和数字

振镜之间的通信。使用差分驱动器芯片将从 CPLD 中输出的控制信号转化为差分信号 ,然后连接到通信接口。控制板的通信接口与振镜通过抗干扰能力强的双绞线进行连接。通信接口使用 D\_Sub25 针接口 ,对振镜和  $Q$  开关的控制各使用一个 25 针接口 ,其接口电路如图 5 所示。

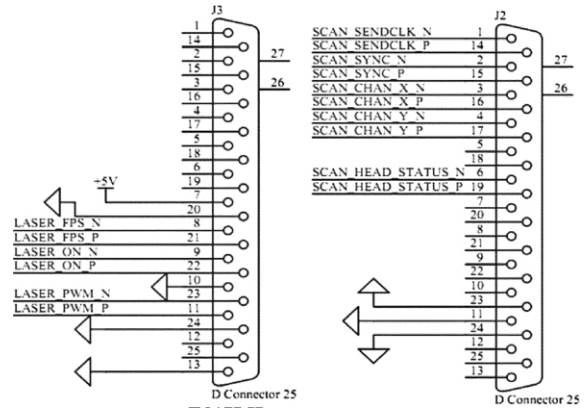


Fig. 5 Control interface for the galvanometer and Q-switch

### 6 小结

本系统将高速 USB 总线与高速 DSP 相结合 ,配合拥有合适逻辑单元数的 CPLD ,建构了一套高速高精度的数字振镜控制系统 ,同时采用 RS-485 总线 ,实现了控制板与数字振镜的通信。该系统充分利用了 DSP 的高速处理数据的能力和 CPLD 的逻辑控制能力 ,实现了 DSP 与 CPLD 的优势互补。RS-485 总线保证了通信的速率和提高了抗干扰能力。因为控制板为纯数字板 ,所以避免了模拟电路的干扰 ,减少了元件数量和复杂度 ,便于调试。

### 参 考 文 献

- [1] ZHANG Y. High speed and high precision galvanometer laser marking system solutions based on DSP[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology 2007: 8-10( in Chinese ).
- [2] SONG Q G. Design and implementation of a laser marking control system[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology , 2009: 6-8( in Chinese ).
- [3] Texas Instruments. TMS320VC5509A fixed-point digital signal processor data manual[EB/OL]. ( 2003-12-31 ). <http://www.datasheets.org.uk/TMS320VC5509A-datasheet.html>.
- [4] TANG Y J. Design of laser marking controller based on DSP[D]. Hefei: Hefei University of Technology 2010: 20-21( in Chinese ).
- [5] Newson Engineering. XY2-400 technical data sheet [EB/OL]. ( 2007-03-31 ). [http://www.newson.be/rhotorh\\_Downloads.htm](http://www.newson.be/rhotorh_Downloads.htm).
- [6] Altera Corporation. MAXII device family data sheet [EB/OL]. ( 2009-08-31 ). <http://wenku.baidu.com/view/aee7d62caedd3383c4d36c.html>.
- [7] SCANLAB A G. Installation and operation SCANcube10[EB/OL]. ( 2008-06-24 ). <http://www.scanlab.de/zh/~service/downloads>.
- [8] ZHANG X , HUA Zh , CHEN Sh Q. Single-chip microcomputer theory and applications[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry 2005: 190-191( in Chinese ).