

## 0 引言

### 基于 DSP 的振镜扫描式激光标记控制系统设计

振镜扫描式激光标记技术就是通过控制两片高速振镜的偏转角，改变激光的传播方向，经过 F-Theata 透镜在工件表面的聚焦，在工件表面作标记。与传统的标记技术相比，它具有适用面广(对不同材料、形状的加工表面均适合)，工件无机械变形，无污染，标记速度快，重复性好，自动化程度高等特点，在工业、国防、科研等许多领域具有广泛的用途。高速高精度的振镜标记已成为当今标记行业的发展方向。

传统的振镜标记控制系统通过 PC 机的串口、并口 ISA 总线与单片控制板相连，这种方式接口简单、连接方便，开发费用低，但由于传输速度低，已不能满足现代数控系统的实时性要求。本文在激光标记控制技术方面进行了一些新的探索：利用 PCI 的高速数据传输和 DSP 高速数据处理能力，提出一种“PC 机+PCI 总线+DSP 控制板卡”的方式，用于振镜标记控制系统，从而实现对标记控制的精确控制，提高控制效率，保障系统实时性。DSP 控制板卡是整个系统的核心，它直接决定着系统的扫描速度和扫描精度，本文将着重介绍该控制板卡的设计。

## 1 DSP 芯片

DSP 控制板卡的主芯片选用德州仪器公司 C6000 系列的高速数据处理芯片 TMS320C6205。该芯片为高性能的定点处理器，主频可达 200MHz，每个周期能执行 8 条 32-bit 的指令，处理速度可达 1600MIPS；采用高性能的 VLIW 结构的 TMS320C62xTM DSP 核，有 8 个独立的功能单元，32 个 32 位的通用寄存器；提供 64K 字节的内部程序 RAM 和 64K 字节的内部数据 RAM；提供 32 位的外部存储器无缝接口，包括同步器件（如 SDRAM、SBSRAM 等）、异步器件（如 FLASH、SRAM 等）和可寻址 52M 字节的外部存储空间；提供灵活的 PLL、时钟产生器，可配置倍频值；提供符合 PCI 2.2 规范的 PCI 总线接口，直接实现芯片和 PCI 总线的桥接功能；提供两个 32 位的定时器；提供在线调试的 JTAG 边界扫描接口。采用此芯片，能够实现高速的数据处理，保证系统工作的实时性，且由于带了 PCI 桥接功能，提供了和 PCI 总线的接口，经济可靠。

## 2 硬件设计

### 2.1 结构框图

如图 1 所示为系统的硬件结构框图。DSP 控制板卡通过 PCI 总线与 PC 机连接，实现高速通信。DSP 处理模块为主控制模块，使用主频为 200MHz 的 TMS320C6205 芯片作为主控制芯片。DSP 处理模块充分利用了 C6000 系列 DSP 的快速计算能力和高精度定时器，能够保证振镜标记机进行匀速、高速标记，这些由 PC 机是没有办法做到的。DSP 的外围电路包括存储模块、复位控制、电源控制、时钟系统、JTAG 端口、数模转换模块、CPLD 逻辑控制模块和光电隔离模块等。其中存储模块包括 FLASH 模块和 SDRAM 模块，FLASH 用来存储系统启动代码和软件代码，SDRAM 用于提供软件运行时所需的额外存储空间。DSP 控制板卡输出两路模拟量控制两块振镜的运动，输出 Q 开关控制信号以控制激光器的开关光，输入/输出 16 路光电隔离信号用于功能扩展。

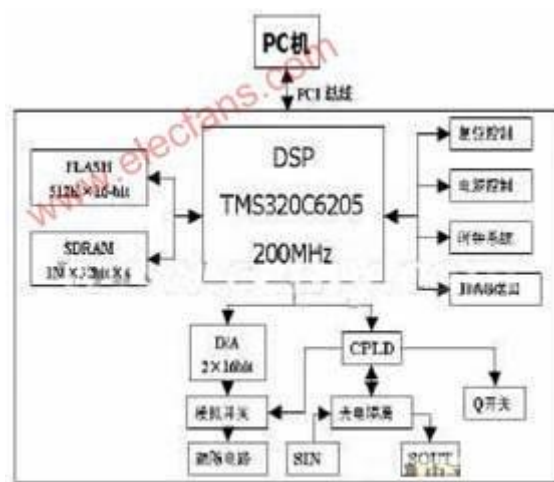


图 1 硬件结构框图

## 2.2 PC 机与 DSP 的通信

PCI 总线是一种不依附于某个具体处理器的局部总线。从结构上看，PCI 是在 CPU 和原来的系统总线之间插入的一级总线，具体由一个桥接电路实现对这一层的管理，并实现上下之间的接口以协调数据的传送。管理器提供了信号缓冲，使之能支持 10 种外设，并能在高时钟频率下保持高性能。PCI 总线也支持总线主控技术，允许智能设备在需要时取得总线控制权，以加速数据传送。PCI 总线相比起 ISA 总线，有传输速度快，传输量大的优点。

本系统选用 TMS320C6205，该芯片自带了符合 PCI2.2 规范的 PCI 总线桥接功能，开发者免去了 PCI 协议的硬件和软件实现，给系统设计带来了便利，缩短了开发周期，也节省了开发费用。开发者只需将 PCI 插槽上的总线信号和 DSP 芯片上相关的 PCI 总线信号直接相连即可。带“金手指”的 DSP 控制板卡可以直接插在 PC 机的 PCI 卡槽中使用，实现 PC 机与 DSP 之间的通信。PCI 设备可以访问所有的内部 RAM 空间、外设和外部存储器空间。

DSP 控制板卡使用的 PCI 总线宽度为 32 为 (3.3V)，总线频率为 33MHz，传输速率为  $33 \times 32 / 4 \text{MB/s} = 132 \text{MB/s}$ 。此传输速率为整个系统能实现高速运行提供了保障。

### 2.3 CPLD 逻辑控制

整个高速系统的逻辑控制是通过高速 CPLD 芯片来实现的。选用 ALTERA 公司的 MAX7128E 芯片实现，可用编程逻辑门为 2500，宏单元数 128，逻辑阵列块数 8，用户可定义 I/O 脚 100 个，pin-to-pin 延时为 5ns。MAX7000 系列器件可以通过编程器进行编程，也可以在线编程。本设计采用了在线编程（ISP）。ISP 允许在设计开发过程中迅速方便地重复编程，简化了制作过程，允许器件在编程之前就先装配到印制板上。

系统设计中 LED 信号灯、FLASH、DA 芯片、16 路 I/O 光电隔离接口、模拟开关、Q 开关、PWM 输出、软件复位控制都使用了 CE1 空间的地址，为了防止这些器件的互相干扰，必须对输入地址进行译码。通过判断输入到 CPLD 的 PA[2: 6] 和 PA[16: 21] 可以知道 DSP 正在访问的地址区域，进行 CE1 空间的地址译码，从而产生相应的控制信号，以实现逻辑控制和时序控制。

CPLD 上构建的寄存器的高地址都是一样的，命名为 dsp\_reg\_addr，由 Pa16~21 构成，若 Pa16~21 设置为“111000”即表示地址 0x0178xxxx。

低地址由 Pa2~6 构成，对 10 个寄存器寻址，地址对应关系见表 1 所示。

表 1 地址分配表

地址	低位地址值	含义
0x01780000	00000	测试灯地址
0x01780004	00001	DA 一级缓存地址
0x01780008	00010	DA 二级缓存地址
0x0178000C	00011	Q 开关地址
0x01780010	00100	模拟开关地址
0x01780014	00111	输入口地址
0x01780018	00101	输出口地址
0x0178001C	00110	PWM 频率低位设置地址
0x01780020	01000	软件复位地址
0x01780024	01001	PWM 频率高位设置地址

### 2.4 数模转换模块

数模转换模块将 DSP 处理完的数字信号转换为模拟信号以控制两路振镜的偏转。由于现在对标记精度的要求越来越高，传统的 8 位数模转换器已无法满足用户的需求，因此本系统选用 ADI 公司的 16 位高精度数模转换器 AD669 芯片，如图 2 所示。AD669 为 16 位并行输入，二级数据缓存结构。设计中将 /L1 信号直接接地设置为有效，通过控制 /CS 和 LDAC 信号分别控制一级缓存和二级缓存。控制振镜信号的电压范围为 -10V~+10V，以标记 100mm×100mm 幅面大小的标牌为例，精度可达 100mm/216=0.0015mm，对应最小输出电压为 0.00031V。

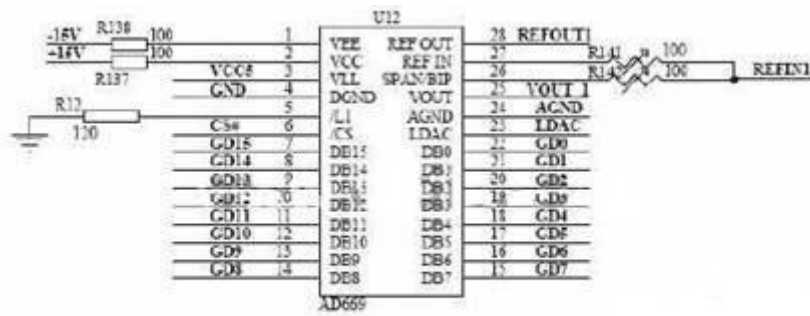


图 2 DA 模块原理图

经实验发现，在上电时，AD669 芯片的输出为一不可控量，会使振镜在上电瞬间有一个偏转，倘若偏转幅度过大，长期使用会导致振镜的断裂。为了保护振镜，可设计一个模拟开关电路以控制 AD669 芯片上电时的输出，使其为 0V。笔者将模拟开关放在 AD669 芯片的参考电压输入端，通过 CPLD 实现对模拟开关的控制，来控制参考电压的有无，从而保证在上电时振镜不偏转。

### 3 PCB 设计

该控制板卡选用主频 200MHz 的高速 DSP 处理芯片，高速信号系统中，存在 EMC 问题，将影响系统的性能。为了设计出一块稳定，抗干扰性能好的控制板卡，采取了以下措施

#### 1、板层的合理安排

该控制板卡为六层板，板层设计为（从顶层到底层依次）信号层-地层-电源层-信号层-地层-信号层。这样的板层结构安排，使每一个信号层和电源层都紧邻一个地层，给信号提供一个较短的回流路径。

#### 2、时钟信号线的处理

PCI 时钟信号的一半要靠反射波来提升，因此，时钟信号 CLK 走线长度近似为 2500 mil，走蛇形线实现（此点在 PCI2.2 规范的走线要求中有明确规定）。对于 DSP 芯片，晶振电路尽量靠近 DSP 芯片，且时钟信号尽量短。

#### 3、SDRAM 相关信号线的处理

SDRAM 工作频率为 100MHz，在高频下，信号的传输时间和信号的走线长度有直接的关系，已不能忽略此问题。因此 SDRAM 的数据线和地址线要等长走线，以保证信号传输的质量。另外，串扰和振铃问题在高频下也极易出现，对 SDRAM 和 DSP 接口的控制信号和数据、地址总线信号，在源端串接匹配电阻以提高信号传输质量，保证 SDRAM 在高频下能正常工作。

#### 4、数模电路的隔离处理

控制板卡上有数字电路和模拟电路，在布局时，必须考虑数模电路的隔离问题，尽量将数字电路和模拟电路分块布局，避免数字信号走线跨越模拟电路区域，以防止两块电路间的相互干扰。另外数字电路和模拟电路通过 0 欧电阻一点共地。

#### 5、电容的使用

在每个数字芯片的电源引脚旁边放置一个 1.01 $\mu$ F 的去耦电容。

### 4 总结

本系统将高速 PCI 总线与 C6000 高速 DSP 处理器相结合，配以高精度的数模转换模块，实现了一套高速高精度的控制系统，并将其成功的运用到振镜激光标记系统。该系统充分利用了 DSP 的高速处理能力和内部的高精度定时器，分担了 PC 机的实时性任务，从而实现了 PC 机与 DSP 控制板卡的优势互补，实现了实时性标记，保证了标记质量的均匀性。本文还给出了 DSP 控制板卡在 PCB 设计阶段的注意点，该板卡已在生产实际中投入使用，具有较好的稳定性和抗干扰性。