

· 电路与控制 ·

## 一种高速光栅图像采集系统的设计

杨 亭, 粘 伟

(北京空间机电研究所, 北京 100094)

**摘 要:**为了解决光栅测试复杂和测试设备昂贵的问题,设计了一种从采集到显示的光栅图像高速采集系统。该采集系统基于 ARM 微控制器 STM32F103、USB2.0 和线阵 CCD 芯片 TCD1209D。通过 ARM 芯片的 GPIO 模拟 CCD 工作时序,用软件编程的方式配合辅助电路实现了其驱动时序。然后利用 STM32F103 的片内 AD 和 USB2.0 控制器,实现了 CCD 信号的采集和 USB 传输,在 PC 端编写了图像显示软件。结果表明,CCD 输出带明暗条纹的光栅图像信号,通过 USB 传输,PC 上的图像采集软件中能正确显示出该光栅图像信号的图像。

**关键词:**线阵 CCD; advanced RISC machines (ARM); USB2.0; 光栅图像采集

**中图分类号:** TP274

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1255(2014)-02-0066-04

## Design of High Speed Grating Image Acquisition System

YANG Ting, NIAN Wei

(Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing 100094, China)

**Abstract:** In order to solve the issues of complex grating testing and expensive test equipment, based on ARM micro-controller STM32F103, USB 2.0 and linear array CCD TCD 1209D, a grating image speed acquisition system with acquisition and display function is designed. CCD operation time sequence is simulated by GPIO of ARM chip, and the driving time sequence is realized through software programming and auxiliary circuits. And then, CCD signal acquisition and USB transmission are realized with AD in STM32F103 and USB 2.0 controller and image display software is written in PC. The results show that the grating image signals with light and dark stripes outputted by CCD is transmitted via USB and the images of the signals can be displayed correctly by image acquisition software in PC.

**Key words:** linear array CCD; advanced RISC machines (ARM); USB2.0; grating image acquisition

光栅是将不同宽度的线条刻划在一个很小的范围内,一般线条的宽度约几十到几百微米,在光栅测试过程中,一般需要将光栅线条的图像采集并显示到计算机上来判断线条的均匀性和一致性。线阵 CCD(电荷耦合器件)是一种一维的图像传感器,它是一种将光信号转换成电信号的光电器件<sup>[1]</sup>。由于线阵 CCD 的像元的大小一般在 10  $\mu\text{m}$  左右,所以用线阵 CCD 来识别或测试光栅具有精度高,误码低的优点。

ARM 是一种 16/32 位的高性能、低成本、低功耗的嵌入式 RISC(reduced instruction set computer,精

简指令集计算机)微处理器<sup>[2]</sup>。在线阵 CCD 用于光栅测试时,为了得到信噪比高的有效 CCD 信号,首先要做的工作就是设计出一套高速可靠的基于 ARM 和线阵 CCD 的光栅图像采集系统。

### 1 系统总体方案

光栅图像采集系统选择 ST 公司的 Cortex-M3 ARM 芯片 STM32F103 作为微控制器,该芯片内部有片内 FLASH,片内 AD 及 USB2.0 控制器,满足采集系统的方案要求。另外,线阵 CCD 采用 TOSHIBA

公司的TCD1209D,它具有工作速度快(驱动频率高达20 MHz)、灵敏度高、光谱响应范围宽等特点,共有2 048个有效像元,像元大小及间距为14  $\mu\text{m}$ 。根

据芯片选型的结果,设计的光栅图像采集系统组成框图如图1所示。

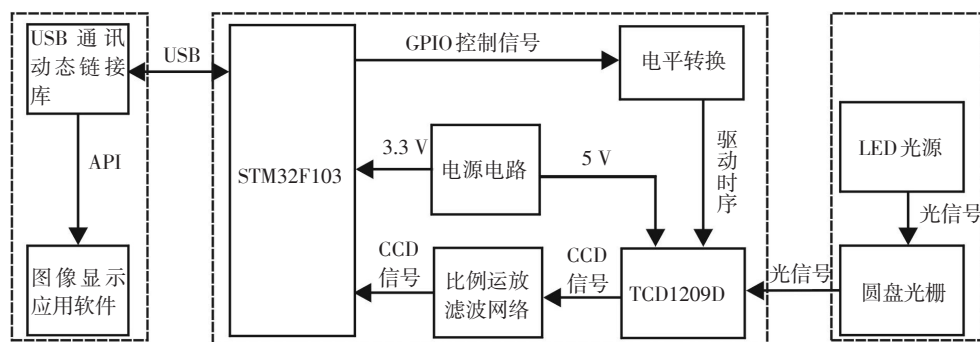


图1 光栅图像高速采集系统组成框图

LED光源发出的可见光经过一块透镜后平行透射过圆盘光栅,线阵CCD位于圆盘光栅上方,这样光信号入射到线阵CCD上并转换成电信号,STM32F103的主控系统控制TCD1209D的信号采集,然后通过USB接口将采集到的数据发送到计算机上,最后用VC编写的应用软件显示出采集得到的CCD图像。

## 2 硬件电路设计

### 2.1 线阵CCD驱动电路设计

CCD器件的正常工作需要有驱动时序来驱动<sup>[3]</sup>,常用的CCD时序生成的方法有多种,如数字电路驱动法、可编程逻辑器件驱动法<sup>[4-5]</sup>以及微处理器驱动法等。在设计中采用微处理软件驱动配合辅助电路法,软件实现的驱动时序通过ARM微处理器STM32F103的GPIO口(general purpose input output)输出给CCD,采用这种时序产生方式主要是考虑到这种方法利用微控制器通过软件编程直接在GPIO口上输出所需的各路驱动脉冲,硬件简单、调试方便、可在线调整驱动频率。但由于是依靠软件来产生时序,如果程序设计不合理,会造成时序不满足要求,通常驱动频率不高,除非采用高速微处理器<sup>[6]</sup>。

TCD1209D的典型驱动频率为1 MHz,最高可达到20 MHz,在设计中选用其典型驱动频率1 MHz。由于选用的ARM微处理器STM32F103通过一个片内PLL可实现最大为72 MHz的CPU操作频率,其GPIO速度能达到5 M以上,所以驱动TCD1209D完

全符合要求。

TCD1209D采用双相时钟驱动,根据TCD1209D的时序要求,需要6路驱动信号:SH转移脉冲信号、RS复位脉冲信号、CP时钟控制脉冲信号、 $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$ 双相脉冲信号。根据TCD1209D数据手册中提供的时序要求, $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$ 互为反相,而RS信号可以认为是 $\Phi_1$ 信号的微分,CP信号是RS信号的延时。所以设计了图2所示的辅助电路来配合软件编程模拟时序的工作,产生CCD需要的各路时序信号。该辅助电路主要是配合软件编程用于两相时钟 $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$ 、RS、CP的同步,这是靠基本的反相电路、微分电路和延时电路来完成的。反相电路的目的是为了从输入的CLK信号中得到反相的 $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$ 提供给TCD1209D,再经过微分电路和延时电路,分别得到RS信号和CP信号。此外,输入信号CLK和SH需要经过电平转换后,才可直接用于TCD1209D,并且由于STM32F103的AD参考电压是3.3 V,CCD输出的5 V CCD信号不能被STM32F103的片内AD读取,所以需要在TCD1209D信号输出端加一个比例运放电路<sup>[7]</sup>,实现5 V到3.3 V的模拟电压变换,同时比例运放电路也能提高CCD信号的带载能力。

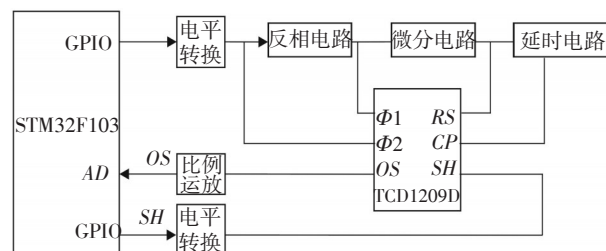


图2 微控制器配合辅助电路驱动CCD框图

根据TCD1209D的驱动硬件电路连接和驱动时序图(图3),可以看到,为了采集CCD像元信号,只有在SH由高变低时开始采集,AD采集的时刻是由软件编程控制。OS端开始依次输出13个虚设单元,16个暗像元和3个哑元,然后才输出2048个有效像敏单元信号。有效像敏单元信号输出后,再输出8

个哑元信号。这样,1个行周期总共包含2088个单元。在软件编程中模拟该时序要注意,行周期应该大于等于这些单元输出的时间(即大于等于2088个转移脉冲Φ1的周期TCR1,否则不能保证SH在转移第2行信号时第1行信号能全部转移出器件)。

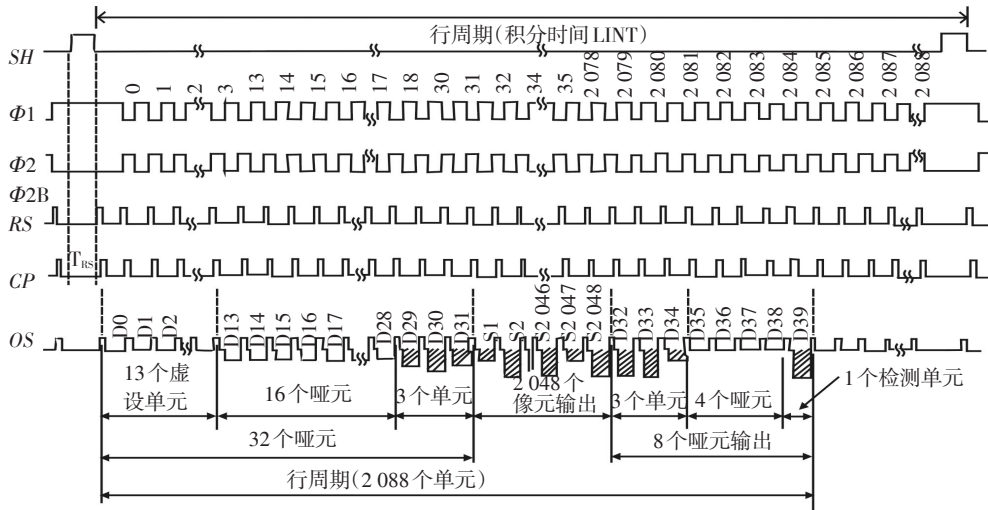


图3 TCD1209D工作时序图

考虑到硬件辅助电路中已经实现了两相时钟Φ1、Φ2、RS和CP信号的相互关联,微控制器里只要用GPIO来控制CLK信号和SH信号即可,后续的Φ1、Φ2、RS和CP信号都将在CLK信号的驱动下正常工作。采用软件代码来控制行周期SH和时钟CP的GPIO模拟时序实现,从而实现CCD信号的采集。图4是CCD驱动软件代码执行流程的伪代码描述。

SH变低电平, CCD积分开始 纳秒延时	SH变低电平, 电荷转移开始 纳秒延时
While(光积分时钟脉冲个数)	While(电荷转移次数)
{	{
CLK变低电平;	CLK变低电平;
纳秒延时;	纳秒延时;
CLK变高电平;	CLK变高电平;
纳秒延时;	AD转换读CCD信号到缓存区;
}	}
SH变高电平, CCD积分结束;	SH变高电平, 电荷转移结束;
CCD光积分阶段伪代码	CCD电荷转移阶段伪代码

图4 CCD驱动软件代码执行流程的伪代码描述

### 2.2 多通道图像采集和电平转换电路

STM32F103的GPIO输出为3.3V的TTL电平,

而TCD1209D需要5V的驱动电压,因此需要一个电平转换电路来输出适合CCD工作的驱动电平。设计中采用的是双四路模拟开关CD4052B来实现电平转换的功能,CD4052B具体接通哪一通道,由输入地址码AB来决定,这也有利于多个CCD光栅采集模块的轮流切换通道,即本设计能用一个微控制器实现多通道的光栅图像信号轮流采集。图5是CD4052B和STM32F103连接的单通道光栅图像信号采集电平转换示意图。信号SH\_3V3和CLK\_3V3通过CD4052B后,输出端的SH信号和CLK信号已经变成5V逻辑电平,从而可以提供给CCD作为时序驱动信号。INH\_3V3是CD4052B的使能信号,A、

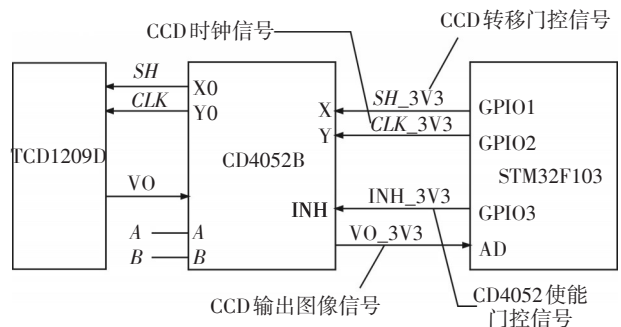


图5 CCD多通道采集和电平转换电路

B 信号是其多路选通信号,由 STM32F103 控制 CD4052B 每一路信号的选通或关断,从而实现多通道光栅图像信号的顺次采集。

### 3 软件设计

#### 3.1 USB 驱动软件设计

USB 驱动<sup>[8-9]</sup>分为设备端驱动和 PC 端驱动,两者都是实现 USB 硬件接口的初始化和 USB2.0 的协议栈,以及通讯相关的参数设置。设计采用 USB 批量传输模式,该模式能最大限度地传输从 CCD 采集得到的数据。实际发送的缓冲区是对应于 CCD 像元的一个数组,该数组就是前面 CCD 设备端驱动程序代码中存储 CCD 图像量化值的数组,图 6 是 USB 驱动工作流程图。

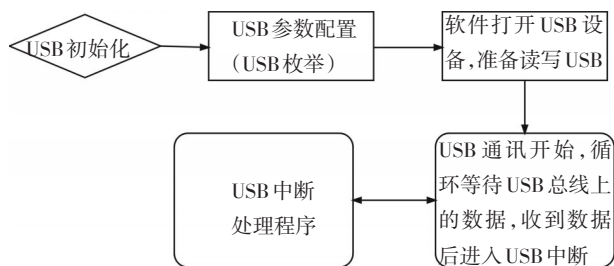


图6 USB工作流程图

#### 3.2 光栅图像的显示

采用 VC 编制 CCD 信号显示软件的界面,该软件能实现 CCD 上 2 048 个像元对应图像的 10 bit 量化显示,同时能调整窗口大小和窗口位置来放大或缩小局部特征。图 7 是圆光栅上局部放大的光栅线条,它们是由不同宽度的明暗相间的条纹组成。图 8 是光栅采集系统采集并通过 USB 传输到 PC 端的图像显示软件上的圆光栅局部图像信号的柱状图,黑色柱条代表光栅的黑线条成像的信号。

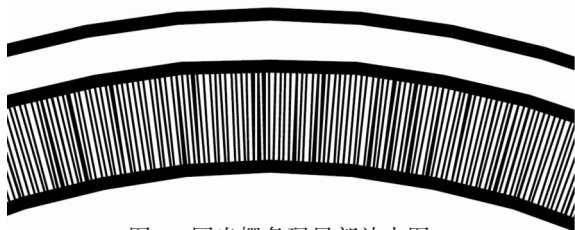


图7 圆光栅条码局部放大图

### 4 性能分析

从图 8 中可以看到,图像中右部有一部分是哑元的输出,由于采集系统采用 10 bit 量化的光栅信号,背景噪声的量化值约 500,图像信号量化值约 300。图像均匀性较好,信噪比较高,其中 CCD 中心位置的信噪比更高,完全可用于光栅的测试。

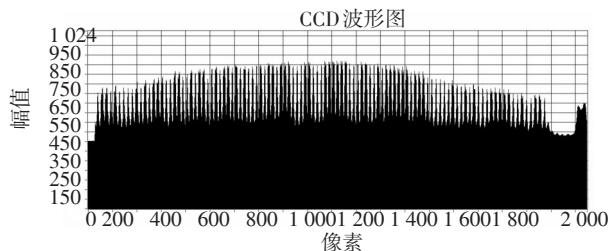


图8 CCD图像采集软件采集的光栅条码图

由于采用 USB2.0 全速传输模式,光栅采集系统通信速率理论上最大能达到 12 Mbps, 除开 USB 协议开销占用的带宽约 10%, 单通道 2 048 像素的线阵 CCD 采用 10 bit 量化, 其帧速率最大能达到 552 fps。采用专用 USB 总线测试软件 bus hound 实际测试, 采用本方案设计的多通道光栅图像采集系统, 最大能达到 350 fps, 只能达到理论帧率的 63.4%。经过分析, 这是受限于 ARM 微控制器的中断响应时间, 虽然采用了 ARM 高速处理器, 但是在 ARM 的 USB 中断响应函数里, 由于处理程序采用 C 语言编程且分支较多, 中断处理时间较长且中断频繁, 导致通讯效率的降低。对 USB 中断响应函数的代码优化后, 可以提升 USB 传输效率, 很容易实现单通道光栅图像采集系统的帧率能稳定的达到 400 fps 以上, 能满足光栅的高速动态测试。

### 5 结论

采用微控制器配合辅助电路法, 用软件驱动 CCD 的方式来采集光栅图像信号, 并将光栅图像信号通过 USB 传输到计算机上图形化显示, 从工程上实现了光栅图像信号采集到显示的一体化设计, 同时实现了较高的帧频。结果表明, 实现的光栅图像采集系统硬件简单实用, 开发周期短, 成本低廉, 采集到的光栅图像信号信噪比高, 便于光栅测试过程中的光栅性能测试, 目前已经成功应用于单位某项目的栅测试筛选平台中。 (下转第 74 页)

对LD驱动电源进行测试,得到实验结果,并用Matlab软件绘制设定电流与实际电流的特性曲线如图7所示。为了便于观察,测试图中加入与设定值相等的理想值作为参考线;在温度18~32℃范围内,调整温度设定值,得到实验结果,同样用Matlab软件绘制设定温度与实际温度的特性曲线如图8所示。实验结果表明,电流输出稳定度优于0.5%。温度稳定度达到 $\pm 0.1$ ℃,达到设计要求。

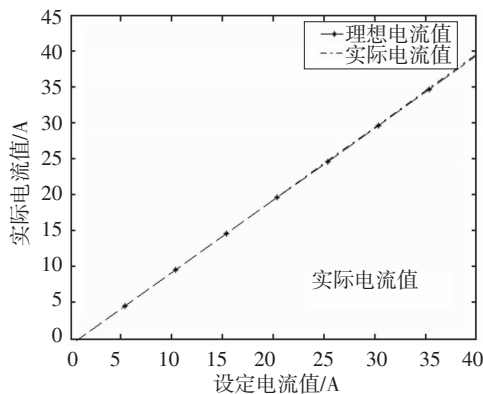


图7 LD设定电流与实际电流的测量结果

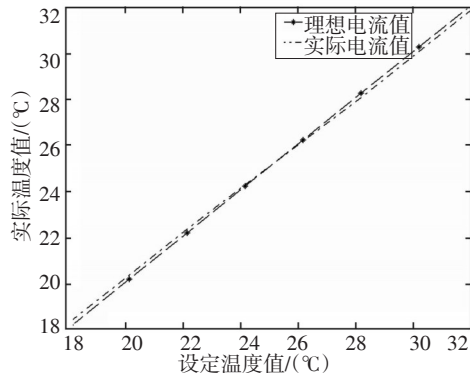


图8 LD设定温度与实际温度的测量结果

## 5 结论

所采用的LD驱动电源设计方法,对于大功率LD的驱动切实可行,输出电流在0~40 A连续可调,驱动电流和光功率稳定性良好。同时具有较高的温度稳定性和较小的温度波动。该电源采取双限流电路、浪涌吸收和慢启动电路等一系列保护电路,保证LD的稳定工作,延长了使用寿命。设计的大功率LD驱动电源不仅可以作为光纤激光器的泵浦源,也可以广泛应用到其他领域,具有较好的应用前景。

## 参考文献

- [1] JEONC Y, SAHU J K, PAYNE D N, et al. Ytterbium-doped large core fiber laser with 1 kW of continuous-wave output power [J]. Electronics Letters, 2004, 40(8): 470.
- [2] 楼棋洪,周军,朱健强,等. 高功率光纤激光器研究进展[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(2): 135-138.
- [3] 春艳,胡新宁,赵尚武,等. 一种光纤传感器光源驱动电路的设计[J]. 传感器与微系统, 2007, 26(9): 98-100.
- [4] 张国雄,黄春晖. 一种高稳定连续可调半导体激光器驱动源[J]. 激光与红外, 2011, 41(2): 160-163.
- [5] 张悦玲,杨绍岩,张晓娟. 基于MSP430F449的半导体激光器温控系统设计[J]. 光电技术应用, 2012, 27(3): 10-14.
- [6] 江文杰,蔡建乐,林业风,等. 基于ADuc812的半导体激光器智能温控及驱动电源设计[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(10): 2221-2224.
- [7] 崔玮,徐根林. DSP和DS18B20的温度测量系统[J]. 微计算机信息, 2007, 23(14): 166-168.
- [8] 陈伟,蔡迎波,孙峰. 大功率半导体激光器驱动电源保护电路设计[J]. 光学与光电技术, 2008, 6(6): 68-74.

(上接第69页)

## 参考文献

- [1] 王庆有. 图像传感器应用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 78-98.
- [2] 田泽. 嵌入式系统开发与应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 2-10.
- [3] 杜伟宁,王冕,蔡印,等. 基于MSP430的线阵CCD数据采集系统[J]. 吉林大学学报(理学版)2012, 50(5): 1003-1006.
- [4] 马愈昭. 便携式测量系统中彩色线阵CCD数据采集电路的设计[J]. 光电工程, 2012, 39(5): 30-33.
- [5] 谭露雯,李景镇,陆小微,等. 基于CPLD工作模式可调的线阵CCD驱动电路设计[J]. 光子学报, 2010, 39(3): 436-439.
- [6] 周根荣,姜平. 一种基于高速超微型单片机的CCD驱动电路设计[J]. 电子技术应用, 2006(3): 105-107.
- [7] 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社.
- [8] 张德军,张俊俊,刘自红. 基于USB2.0的线阵CCD数据采集系统驱动电路设计[J]. 机床与液压, 2011, 39(12): 95-97.
- [9] 袁宝红,付奎,张德祥. 基于FPGA和LabVIEW的USB数据采集与传输系统[J]. 仪表技术与传感器, 2013(9): 24-26.