

文章编号:1007-2780(2009)05-0746-05

基于 CMOS 摄像头与 FPGA 的位置检测系统设计

徐正平^{1,2}, 葛文奇¹, 杨守旺^{1,2}, 运国勤^{1,2}, 赵秀影^{1,3}, 王德江¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: xuzp090@163.com;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 空军航空大学, 吉林 长春 130022)

摘 要: 提出采用 CMOS 数字摄像头采集并提取黑色胶条位置来控制冷却转鼓速度的方法。系统以 FPGA 作为核心控制器, 采用两片 SRAM 进行乒乓操作, FPGA 根据 CMOS 摄像头输出的同步信号, 将采集到的图像信息存储到一片 SRAM 中, 同时读取另一片 SRAM 中的图像数据并进行图像处理, 黑色胶条位置检测采用简单的灰度阈值二值化方法。给出了部分采集图像及仿真结果。采集图像显示, CMOS 摄像头成像质量满足工程要求。仿真结果表明, 系统实现了 SRAM 的乒乓操作, 并完成了黑色胶条位置检测。系统与冷却鼓连接, 实际运行可靠。

关 键 词: CMOS 数字摄像头; 位置检测; 现场可编程逻辑器件; OV6620

中图分类号: TP212.9 **文献标识码:** A

1 引 言

密封胶条自动化生产过程包括胶条挤压成型、冷却及自动缠绕包装。挤压成型后的胶条粘性大, 必须进行冷却后才能进行自动缠绕包装。可以将胶条缠绕在冷却鼓上进行自然冷却。自然冷却鼓的旋转速度需与胶条输出速度相匹配。若自然冷却鼓速度过大, 胶条将会被拉伸, 导致胶条厚度减小, 甚至拉断; 若自然冷却鼓速度过小, 胶条将会堆积进而粘在一起。因此, 必须实时检测胶条位置, 以调节冷却鼓转速。数字摄像头已在非接触测量中得到了广泛应用^[1,2]。由于 CCD 摄像头驱动电路复杂^[3-6], 而 CMOS 数字摄像头驱动电路简单, 数据采集方便, 所以本系统采用微小型 CMOS 摄像头 OV6620 对胶条成像, 将采集到的信息送入 FPGA, FPGA 对图像信息进行处理^[7], 将得到的位置信息经 RS232 串口传送到冷却鼓速度控制系统, 以实时调整冷却鼓的转速。

2 系统结构设计与分析

系统整体结构分为 4 部分: CMOS 摄像头数

据采集与存储、数据处理及 RS232 串口通信。

系统整体设计如下: FPGA 依据摄像头输出的同步信号采集图像信息, 整个系统采用双 SRAM 进行乒乓操作: 在向 1 片 SRAM 进行写操作时, 读取另 1 片 SRAM 中存储的图像信息进行处理。FPGA 将得到的胶条位置信息通过 RS232 串口送出。系统功能结构简图如图 1 所示。

图 1 系统功能结构简图

Fig. 1 Functional block diagram of the system

2.1 OV6620 信号分析

CMOS 数字摄像头选用 Omni Vision 公司生产的 OV6620 彩色数字摄像头, 该摄像头分辨率为 292×356 , 像元尺寸为 $9.0 \mu\text{m} \times 8.2 \mu\text{m}$, 帧频

收稿日期: 2009-03-15; 修订日期: 2009-03-26

基金项目: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所创新工程资助项目 (No. ZJ99130B); 中国科学院知识创新工程领域前沿资助项目 (No. O70Y32R070)

为 25 Hz,每帧两场:奇数场和偶数场,即每 20 ms 输出一场。数字输出格式为 YCrCb 4:2:2,GRB 4:2:2,RGB 4:2:2 可选。

OV6620 上电后输出同步信号 FODD, VSYNC,HREF,PCLK 及图像灰度信号 Y[7..0]、色度信号 UV[7..0]。OV6620 模块供电电压为 5 V,各输出信号为 TTL 信号,FPGA I/O 口供电电压为 3.3 V,因此,FPAG 与 OV6620 之间接口必须添加电平转换芯片,本系统选用 74LVT16245。各信号时序图如图 2 所示。

图 2 OV6620 信号时序图

Fig. 2 Signal timing diagram of the OV6620

图 2 中,FODD 为奇偶场信号:FODD=1 时对应奇数场,FODD=0 时对应偶数场;VSYNC 为场同步信号,VSYNC 下降沿标志着新一场的开始;行同步信号 HREF 的周期约为 64 μ s,占空比约为 62.5%;PCLK 为像素时钟,周期为 112 ns,像素时钟一直存在;Y,UV 分别为图像灰度信号和色度信号,该信号只有在 HREF=1 时才输出图像有效信号,其余时间输出固定信号,其中 Y 信号在 HREF=0 期间输出 16H,对应图像灰度最小值。

2.2 SRAM CY7C1011DV33 信号分析

为了能对所得到的图像数据进行处理,提取黑色胶条位置信息,需要将图像数据进行缓存。由于 SRAM 读写方便,本系统采用 Cypress 公司生产的 CY7C1011DV33 进行图像存储。CY7C-1011DV33 为 128K $\times$ 16 SRAM,其真值表如表 1 所示。

从表 1 可以看出,SRAM 片选信号低位有效,高低字节分别由独立控制位 nBHE 和 nBLE 进行控制。SRAM 的读写则由 nOE,nWE 控制:

表 1 CY7C1011DV33 真值表

Table 1 Truth table of the CY7C1011DV33

nCE	nOE	nWE	nBLE	nBHE	I/O0-7	I/O8-15	模式
H	$\times$	$\times$	$\times$	$\times$	Z	Z	低功耗
L	L	H	L	L	Out	Out	16 位读
L	L	H	L	H	Out	Z	读低 8 位
L	L	H	H	L	Z	Out	读高 8 位
L	$\times$	L	L	L	In	In	16 位写
L	$\times$	L	L	H	In	Z	写低 8 位
L	$\times$	L	H	L	Z	In	写高 8 位
L	H	H	$\times$	$\times$	Z	Z	输出高阻

nWE=0 时,对 SRAM 进行写操作;nWE=1,且 nOE=0 时对 SRAM 进行读操作。

由于本系统要完成对黑色胶条位置检测,系统只需采集图像灰度信号而丢弃色度信号,因此,在实际读写 SRAM 时只对低字节进行操作,高字节处于高阻状态。但在硬件设计上,将色度信号输出依然连接在 FPGA 上,为后续功能扩展奠定基础。

从图 2 OV6620 信号时序上可以看出,图像灰度信号 Y 在像素时钟 PCLK 下降沿发生变化,系统应该在 PCLK 上升沿时刻将灰度信号 Y 写入 SRAM。在写 SRAM 时,对应 nOE 信号置高,I/O 直接与 Y 信号连接,而 nWE 信号则由 PCLK 与其它信号共同作用来实现,具体见后续分析。

3 系统软件设计

系统软件设计分为 3 部分:SRAM 的乒乓操作、黑色胶条的位置检测算法和 RS232 串口通信模块。下面将详细分析 SRAM 的乒乓操作及黑色胶条的位置检测算法。

3.1 SRAM 乒乓操作程序设计

SRAM 乒乓操作原理图如图 3 所示。

从图 3 可以看出,地址及读写信号发生模块只产生一组读写地址信号 Write_Addr 和 Read_Addr 及读写控制信号 nOE 和 nWE,这些信号与外部 SRAM 各信号的连接关系由 nOE 进行控制,具体分析如下:

为实现乒乓操作,需一控制信号来选取写操作的 SRAM 对像。OV6620 输出同步信号中,存

图 3 SRAM 乒乓操作原理图

Fig. 3 Schematic diagram of Ping-Pong operation

在奇偶场同步信号,如果将 nOE 与 FODD 相连接,当 FODD = 1 时,Mem1_nOE = 1, Mem1_nWE=nWE, Mem1_Addr= Write_Addr, Mem1_DataL= Write_Data, 对 SRAM₁ 进行写操作; Mem2_nOE=0, Mem2_nWE=1, Mem1_Addr= Read_Addr, Read_Data = Mem2_DataL, 对 SRAM₂ 进行读操作。当 FODD=0 时,分析方法类似,区别在于对 SRAM₂ 进行写操作,而对 SRAM₁ 进行读操作。经上述分析可知,采用图 3 所示电路可以满足对 SRAM 乒乓操作的要求。

SRAM 地址线宽度为 17 位,系统将高 8 位作为行计数器,低 9 位作为列计数器。行计数器在 HREF 下降沿进行递增计数,行计数器在复位及行计数器溢出情况下清零;列计数器在 PCLK 下降沿进行递增计数,列计数器在复位及列计数器溢出情况下清零。

产生控制信号的部分程序代码如下^[8]:
nWE<=PCLK and HREF and (not H_O-
verflow) and (not P_Overflow);
nOE<=FODD;
Write_DataL<=Y;
nWE 只有在 HREF 为高电平,且行列计数器均未溢出的情况下输出 PCLK,即实现了对有

效像素灰度值的存储,满足设计要求。
系统采集到的一幅黑色胶条图像如图 4 所示。

图 4 OV6620 采集的黑色胶条图像

Fig. 4 Black adhesive tape image sampled by OV6620

3.2 黑色胶条的位置检测算法

CMOS 摄像头配套光学镜头焦距 $f=3.6$ mm,实际检测胶条宽度 $d=5$ mm,应用中黑色胶条距离光学镜头的距离 H ,即物距约为 35 cm,则胶条宽度方向在焦平面所成像宽度 L 由式(1)决定:

$$L = \frac{f}{H} \cdot d$$

(1)

将上述数据代入式(1)可得: $L=51.4\ \mu\text{m}$ 。

摄像头像元尺寸 $b=8.2\ \mu\text{m}$,则 CMOS 摄像头采集到的胶条图像在胶条宽度方向上对应的像元数 n 为:

$$n = \frac{51.4\ \mu\text{m}}{8.2\ \mu\text{m}} \approx 6 \tag{2}$$

由式(2)可见:在 CMOS 采集图像中,有 6 行 CMOS 感光像元对应黑色胶条宽度。

黑色胶条的位置检测采用简单的二值化算法:读取某一行像素灰度值,并将各像素灰度值与预先设置的灰度阈值进行比较,如果灰度值小于阈值的像素总数大于某一设定值,则认为该行即为黑色胶条位置。在本系统中,检测行数设置为 230,每行检测 100 个像素;灰度阈值设置为 30,如果检测行像素灰度值小于 30 的像素数达到 80,则认为该行即为胶条位置。胶条背景设置为白色,按上述位置检测方法,只有检测像素中 80%以上灰度值小于 30,系统才认为检测行是胶

条位置,具有一定的抗干扰性。

本系统选取黑色胶条的下边沿作为胶条位置,即系统按照上述方法检测到某行检测像素中 80%以上灰度值小于 30 时,将该行位置保留,继续检测下一行,将最终符合条件的像素行作为胶条位置。原因如下:该位置检测系统的作用是给冷却转鼓速度控制系统提供黑色胶条随时间变化的相对位置信息,作为调速系统控制的依据,位置检测系统只需确保每次输出的位置均以胶条的下边沿为准即可。

4 系统仿真结果及分析

为便于观察仿真结果,对每帧图像取两行,每行取 3 个像素,在黑条检测时,灰度阈值设置为 30,如果一行中有两个像素灰度值小于 30,则认为该行为黑色胶条位置。仿真波形如图 5 所示。

从仿真结果分析可知,系统实现了双 SRAM

图 5 系统仿真结果
Fig. 5 Simulation result of the system

的乒乓操作及对黑色胶条位置的检测。

在复位信号 Reset 为低后 FODD 的第一个跳变沿,FODD=0,Mem2_nOE=1,Mem2_nWE 产生写信号,系统将数据写入 SRAM₂ 中;Mem1_nOE=0,Mem1_nWE=1,系统读取 SRAM₁ 中的数据并进行处理。在 FODD 的第二个跳变沿,FODD=1,系统将数据写入 SRAM₁,读取并处理 SRAM₂ 中的数据。

每帧图像的第一行像素存储在 SRAM 的地址 0,1,2 处,第二行像素存储在 SRAM 的地址 512,513,514 处。第一帧图像 6 个像素灰度值分别设定为:50,50,25,19,20,32,依据上述判断规则,胶条位置应在第 1 行(从第 0 行计),在 VSYNC 上升沿后给出数据准备好信号 Data_

Ready,串口开始发送数据;第二帧图像 6 个像素灰度值分别设定为:23,18,45,16,65,65,因此,胶条位置应在第 0 行,同样在 VSYNC 上升沿后给出数据准备好信号 Data_Ready。系统实物照片如图 6 所示。

图 6 实物照片
Fig. 6 Picture of the system

5 结 论

提出了采用 CMOS 摄像头采集并提取黑色胶条位置来控制冷却转鼓速度的方法,以实现黑色胶条生产自动化。在简单介绍系统结构的基础上,对所选用的器件特性和部分软件设计给予详

细分析,并给出采集图像及软件仿真结果。从采集图像结果可以看出,CMOS 摄像头成像质量满足使用要求,软件仿真显示系统能完成对黑色胶条位置的检测。将本系统与冷却鼓速度控制系统连接,实际运行情况良好,冷却鼓转速受控。

参 考 文 献:

- [1] 艾莉莉,袁峰,丁振良. 应用线阵 CCD 的空间目标外姿态测量系统[J]. 光学精密工程,2008,16(1):161-165.
- [2] 张忠元,邵承会. 视觉反馈模糊控制随动系统[J]. 液晶与显示,2008,23(4):468-472.
- [3] 金龙旭,李国宁,刘妍妍. 帧转移型面阵 CCD 驱动电路的设计[J]. 光学精密工程,2008,16(6):1140-1145.
- [4] 刘金国,余达,周怀得,等. 面阵 CCD 芯片 KAI-1010M 的高速驱动系统设计[J]. 光学精密工程,2008,16(9):1622-1628.
- [5] 周怀得,刘海英,徐东,等. 行间转移面阵 CCD 的 TDI 工作方式研究[J]. 光学精密工程,2008,16(9):1629-1634.
- [6] 徐正平,翟林培,葛文奇,等. 亚像元的 CCD 几何超分辨方法[J]. 光学精密工程,2008,16(12):2447-2453.
- [7] 于超,陈光武,石文静. 基于 FPGA 的信号采集及其频谱显示[J]. 液晶与显示,2008,23(4):499-503.
- [8] 潘松,黄继业. EDA 技术与 VHDL(第 2 版)[M]. 北京:清华大学出版社,2007.

Design of Position Detection System Based on CMOS Camera and FPGA

XU Zheng-ping^{1,2}, GE Wen-qi¹, YANG Shou-wang^{1,2},
YUN Guo-qin^{1,2}, ZHAO Xiu-ying^{1,3}, WANG De-jiang¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail: xuzp090@163.com;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract

The method of controlling the speed of cooling wheel with the position of the adhesive tape is proposed. The position of the adhesive tape is gained with the CMOS digital camera. Based on the core of FPGA, two pieces of SRAM are used in the system to achieve ping-pong operation. According to the synchronous signal produced by CMOS camera, the image is sampled and stored into one of the two SRAMs by FPGA. At the same time, the image data stored in the other SRAM is read out and processed. To detect the position of the adhesive tape, the method of grey is used. One sampled image and the simulation result are given. The sampled image shows that the image quality of the CMOS camera satisfy the need of the project. The simulation result shows that the SRAM ping-pong operation is realized and the position detection of the adhesive tape is completed. The system is connected with the cooling wheel speed control system and works reliably.

Key words: CMOS digital camera; position detection; FPGA; OV6620

作者简介:徐正平(1983—),男,河南许昌人,博士研究生,主要研究方向为 CCD 几何超分辨成像方法及基于 DSP、FPGA 的航空相机像面扫描控制系统设计。