

基于 TMS320VC5509A DSP 的视觉传感器系统研究*

严海岭, 段发阶, 陈 伟

(天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 提出了基于 TMS320VC5509A DSP 及其内置 USB 接口传输的视觉传感器的设计方案, 详细介绍了系统的采集模块和通信模块, 给出图像处理效果图, 实验结果表明: 该系统能完成图像的采集、处理和通信任务, 保证了测量系统的精度和速度。

关键词: 视觉传感器; 数字信号处理器; 图像; USB

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-9787(2009)10-0058-03

Research of vision sensor based on TMS320VC5509A DSP*

YAN Hai-ling, DUAN Fa-jie, CHEN Wei

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology & Instruments, Tianjin 300072, China)

Abstract: A system design scheme of vision sensor based on TMS320VC5509A DSP and embedded USB is proposed. Image acquisition module and USB communication module are emphasized, and the effect of image processing is given. the experimental results show that the system can complete the image acquisition, processing and communication tasks, and ensure the accuracy and speed.

Key words: vision sensor; DSP; image; USB

0 引言

现代自动化生产技术的飞速发展, 需要现代化的检测技术来保证其生产质量。基于计算机视觉理论发展起来的视觉检测技术, 以其高精度、非接触性、自动化程度高等优点, 满足了现代生产过程对在线检测的要求, 是一种可以代替人工视觉进行产品质量检测的新兴技术^[1]。目前, 国内的视觉检测系统研究大多是基于 PC 机的结构。PC 式机器视觉系统以 CCD 摄像机作为图像传感器, 产生的模拟图像在计算机内通过采集卡转换成数字图像, 在 PC 机内完成图像处理。这种结构充分利用了通用计算机成熟的软件和硬件资源, 具有配置灵活, 开发周期短等特点, 但没有模块化, 安装不方便, 可移植性差, 特别是与工业广泛使用的 PLC 接口比较麻烦。从软件和硬件开发 2 个方面来考虑, 都需要一种更适合工业需求的机器视觉检测系统结构^[2]。

视觉传感器集成了光源、摄像头、图像处理器、标准的控制与通信接口, 自成为一个智能图像采集与处理单元, 外扩程序存储器可存储图像处理算法, 并能使用 PC 机, 利用专用组态软件编制各种算法下载到视觉传感器的程序存储器中^[3]。视觉传感器将 PC 的灵活性, PLC 的可靠性、分布式网络技术等技术结合在一起, 是一种更能满足工业需求的机器视觉检测系统结构。

本文提出了基于 TI 公司的 TMS320VC5509A DSP 及其内置 USB 接口传输的视觉传感器的设计方案, 保证了测量系统的精度和速度, 并成功应用于药品检测实验系统中。

1 视觉传感器原理

为实现视觉传感器兼具图像采集、图像处理、信息传递和 I/O 控制的功能, 所设计的系统框图如图 1 所示。系统从功能上可以分为核心模块和扩展模块。系统的核心模块可以分为采集模块、处理模块、通信模块; 扩展模块包括存储扩展模块, I/O 模块。整个系统通过 I/O 接口外触发, 启动采集和检测命令。通过采集模块完成图像采集, 在 DSP 内完成图像处理, 通过通信接口传至 PC 机显示和控制。

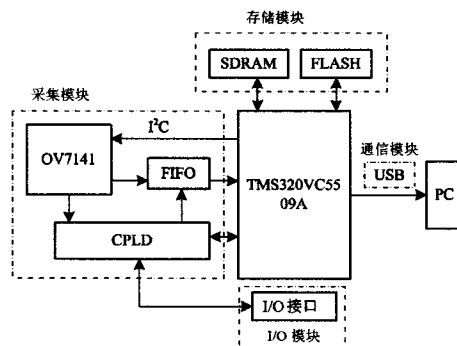


图 1 视觉传感器原理框图

Fig 1 Block diagram of vision sensor

TMS320VC5509A DSP 芯片为系统的核心芯片,完成系统的核心控制和数据的处理。其具有丰富的总线和灵活的接口。VC5509A CPU 最高时钟可以达到 200 MHz,双 MAC 和 ALU 结构使得 CPU 的最高操作数达到 400 MIPS。片上外设定时器,DMA 控制器,I²C 接口,USB2.0 接口等,且其最优地平衡了性能、存储器容量、功耗、成本和尺寸,因此,选择其作为视觉传感器的核心处理芯片。采集模块、通信模块与 TMS320VC5509A 是系统的核心模块,以下着重介绍采集模块和通信模块。

2 采集模块设计与实时性分析

采集模块主要由 CMOS 图像传感器 OV7141, FIFO (CY7C4291V), CPLD 和 DSP 组成。CMOS 图像传感器 OV7141 是系统所需要的图像的来源,所以,在此对其简要介绍。

2.1 OV7141

OV7141 是一种集成了一个 640 × 480 (30 万像素)图像矩阵的黑白芯片,逐行扫描时为 30 帧/s,并具有很强的摄像和控制功能,如,曝光控制、色彩矩阵、窗口选择等,所有这些功能都可以通过 I²C 接口进行编程控制。

图 2^[4]和图 3^[4]分别是 OV7141 的图像数据的行输出时序和帧输出时序。其中,PCLK 为像素时钟,在下降沿更新图像数据,可利用其上升沿进行数据的锁存;HREF 为行同步信号,只有在高有效时,才有图像数据的输出;VSYNC 为帧同步信号,表示一帧图像数据的来临;Y[7:0]为输出的图像数据。在图像采集电路设计中,将充分利用这些信号,完成图像的采集工作。

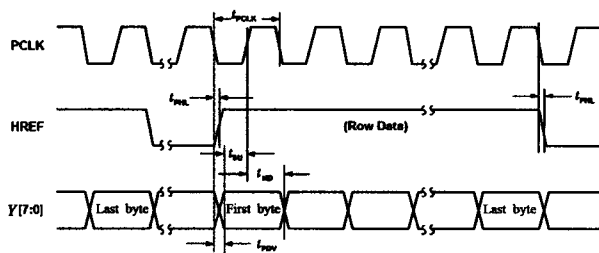


图 2 OV7141 的行输出时序

Fig 2 Row output timing diagram of OV7141

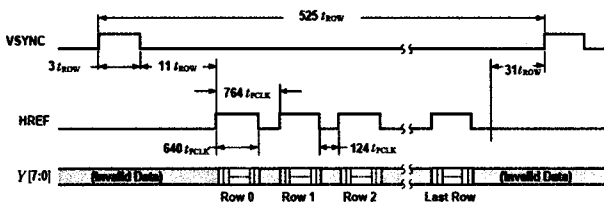


图 3 OV7141 的帧输出时序

Fig 3 Frame timing diagram of OV7141

2.2 采集模块设计与实时性分析

图 4 为图,像采集电路,主要器件有 CMOS 图像传感器 OV7141, FIFO (CY7C4291V), CPLD (EPM240), DSP (未绘出)。CMOS 的 VSYNC, HREF 连至 CPLD,输出的数据线

Q0 ~7和像素时钟 PCLK 连至 FIFO。DSP 通过与 CPLD 相连的控制线与 CPLD 通信,完成图像的采集任务。

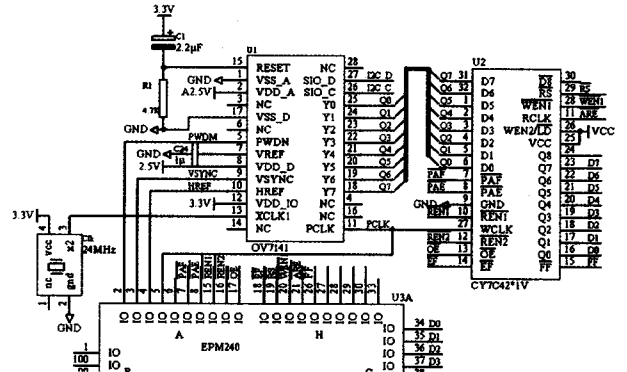


图 4 图像采集模块电路图

Fig 4 Circuit diagram of image acquisition module

图像采集过程主要通过 I/O 模块产生图像采集命令,每次采集图像时都先复位 FIFO,防止上一次采集过程出错有数据滞留而导致本次采集的图像出错。当采集单帧数据时,CPLD 通过控制连续 2 个 VSYNC (帧同步信号)间的 FIFO 的/WE(写使能信号)低有效来达到图像采集的目的。在图像数据写入 FIFO 后,由于 FIFO 的容量为 128 k,而 OV7141,每幅图像数据有 (640 × 480) / 1024 = 300 k,所以,必须及时触发 DSP 来读取图像数据。本系统中由 CPLD 对图像的行进行计数,为保证图像数据不溢出 FIFO (FIFO 为 128k 字节),选取每 40 行图像数据触发一次 DMA 传输,每幅图像分成 12 次传输(共 480 行数据)。

OV7141 工作在时钟 24 MHz 黑白模式下,数据率为 (640 × 480 × 30) / 1 = 9.216 MB/s,则采集每字节需要的时间为 1 / (9.216 × 10⁶) = 108.532 ns, FIFO 配置的最快访问时间为 20 ns/B,完全可以满足图像采集的实时性要求。

3 DSP 内置 USB 通信接口技术

本系统中,TMS320VC5509A DSP 芯片集成了一个 USB 控制模块(USB2.0),可以完成和 USB 主机系统之间的读写操作,无需外加逻辑电路,其在硬件电路设计、传输速度、抗干扰能力等方面较之传统的基于 USB 控制芯片的开发方式有无可比拟的优势,这也是本系统的一个关键技术。

3.1 USB 硬件方案

USB 接口芯片的选择决定 USB 通信硬件方案。接口芯片的选择需要和 MCU 的选择协调进行。一般存在两类 USB 接口芯片:即带 USB 接口的 MCU 和专门的 USB 接口芯片 2 种^[5]。因此,DSP 与 PC 机的 USB 通信方案也主要分 2 种:1) DSP + USB 控制芯片 + PC; 2) 内置 USB 模块的 DSP + PC。

方案一采用专门的 USB 控制芯片,技术成熟,USB 控制芯片的种类多,设计灵活,但是,数据从 DSP 经 USB 控制芯片传输至 PC 的过程中,速率会受到 PCB 电路设计,芯片性能等多种因素的影响,要达到 USB 协议规定的峰值传输速

度很难。本系统采用方案二,核心芯片 TMS320VC5509A 内部集成了 USB 通信模块,数据传输稳定,抗干扰能力强,USB 接口通信的速度也大为提高,图 5 为系统的 USB 接口电路,可见由于无需专门的 USB 控制芯片,硬件电路简单、紧凑,非常利于产品的小型化设计。

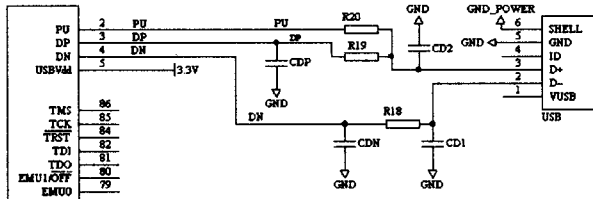


图 5 USB 接口电路

Fig 5 USB interface circuit

在 USB 通信中,USB 的数据在 USB 线路上的传递过程基本是通过客户软件,调用 USB 驱动程序完成的。因此,基于 TMS320VC5509A 芯片内置 USB 的固件程序,基于 WDM 结构的 USB 驱动程序和基于 MFC 的上位机应用程序等软件是实现 USB 通信的重点和难点,限于篇幅,在这里不做详述。

3.2 USB 传输速率验证

为了测试 USB 接口的数据传输速率,将数据从 DSP 外扩的 8M 的 SDRAM 中循环搬运至主机。分别设计了 1,10,100 Mbytes 的数据传输实验,实验数据结果如表 1 所示。

表 1 USB 数据传输实验数据

Tab 1 Experimental data of USB transmission

次数	1Mbyte (8 Mbit)	10Mbyte (80 Mbit)	100Mbyte (800 Mbit)
1	0.762	8.017	79.842
2	0.795	7.920	80.529
3	0.810	7.978	77.696
4	0.793	7.865	79.837
5	0.802	7.876	77.862
6	0.769	7.982	75.293
7	0.778	7.771	76.571
8	0.789	7.893	77.827
9	0.793	7.872	78.170
10	0.783	7.961	77.546
平均时间(s)	0.7874	7.9135	78.1173
平均速率(Mbit/s)	10.157	10.165	10.241
总平均速率(Mbit/s)		10.188	

TMS320VC5509A 的 USB 模块满足 USB 2.0 full speed 协议,而 USB 2.0 full speed 协议所定义的传输速率的峰值是 12 Mbit/s,所设计的 USB 接口的平均传输速率为 10.188 Mbit/s,而常见的基于 USB 专用控制芯片实现的 USB 2.0 full speed 协议接口的传输速率一般在 8 Mbit/s 以内,这充分论证了本系统的 DSP 内置 USB 方案在数据传输速率上的优势。

4 图像处理效果

本系统可以应用于视觉系统的多个领域,通过开发标准的软件处理模块,如,二值化、几何边缘提取、Blob、灰度直方图等,由用户根据实际的测量需求选择相应的处理模块,由上位机编译成相应的固件下载到系统中,从而实现特定功能的视觉检测。目前系统开发,只能完成特定的几种功能,用本系统对缺损、漏装的药板进行采集,做改进后二值化处理与边缘提取处理,图 6 为采集的图像和处理效果图。

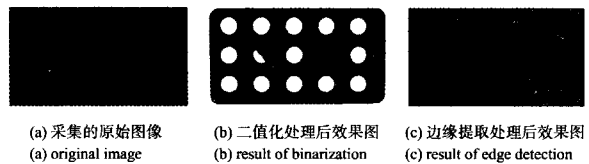


图 6 图像处理效果图

Fig 6 Image processing results

5 结束语

机器视觉技术的应用,极大地解放了劳动力,为现代自动化生产提供了先进、可靠的检测技术,目前,机器视觉技术已经广泛应用于生产、生活中,国内在机器视觉的研究应用方面也取得了重大的进步^[6]。本文提出基于 TI 公司的 TMS320VC5509A DSP 及其内置 USB 接口传输的视觉传感器的设计方案,保证了测量系统的精度和速度,可以完成简单的图像处理任务。当然,该方案还有许多有待完善的地方,比如:系统的 CMOS 图像传感器只有 30 万的分辨率,DSP 的最高时钟也只有 200 MHz,而在许多工业检测应用中,需要视觉传感器具有高分辨率和高处理速度,因此,高分辨率图像传感器+更高性能 DSP 将是视觉传感器的发展方向之一。

参考文献:

- [1] 吕晓明. 基于 DSP 的视觉传感器的关键技术研究[D]. 天津: 天津大学,2007.
- [2] 陈梅兰. 机器视觉关键技术与应用实例分析[J]. 现代计算机,2000(227):21-25.
- [3] 段峰,王耀文. 机器视觉技术及其应用综述[J]. 科普园地,2002(1):59-61.
- [4] OmniVision Technologies, Inc. OV7141 B&W CMOS VGA (640 × 480) CAMERA CHIPTM Datasheet [DB/OL]. [2003-10-27]. <http://www.ovt.com>.
- [5] 何梓滨. 智能视觉传感器技术及其在药品自动视觉检测中的应用研究[D]. 天津:天津大学,2008.
- [6] 席斌,钱峰. 机器视觉测量系统在工业在线检测中的应用[J]. 工业控制计算机,2005(18):75-76.

作者简介:

严海领(1984-),女,河北涞水人,硕士研究生,主要从事计算机视觉检测技术,DSP 系统设计开发等方面的研究。