

高速 CMOS 数字图像采集系统设计

Design of High-speed CMOS Data Image Acquisition System

(1. 中国科学院研究所; 2. 中国科学院研究生院) 魏仲慧¹ 曹旭耀^{1,2} 何 昕¹

WEI Zhong-hui CAO Xu-yao HE Xin

摘要: 本文介绍了高速 CMOS 图像传感器芯片 LUPA-300 的功能与特点,并基于该芯片设计了一种高速图像采集系统,给出了其详细的硬件和软件设计。该系统具有结构简单、性能稳定可靠、灵活性好、功耗低等优点。

关键词: CMOS 图像传感器;高帧频;FPGA;图像采集;PCI 接口

中图分类号: TP274

文献标识码: A

Abstract: The functions and characteristics of the high-speed CMOS image sensor are introduced, and the hardware and software design of a high-speed image data acquisition system based on the sensor is presented in detail. This system has advantages of simple structure, reliable and steady function, flexible and low consumption.

Key words: CMOS image sensor; High frame rate; FPGA; Image Acquisition; PCI port

引言

高速数字图像采集系统是研究瞬间发生的物理现象的一种有效工具,高速运动物体数字图像的获得,是对瞬间发生的物理现象研究的基础。目前高速图像采集系统(一般指帧频在 100fps 以上)主要应用在军事领域。在军工靶场测量中,需要对快速飞行目标的飞行实况进行跟踪、测量,事后要对测量数据进行分析、处理,为了提高测量精度,普遍采用高帧频数字图像采集系统。

CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)图像传感器是近年来发展起来的新型传感器,相比于 CCD(Charged Coupled Device)等固体传感器,它具有体积小、重量轻、集成度高、功耗低、成本低、编程方便、易于控制及捕捉速度高等优点。特别是近年来,随着亚微米和深亚微米工艺技术和器件结构的不断改进,CMOS 图像传感器的图像质量已接近或达到 CCD 图像传感器的图像质量。基于以上特点,CMOS 图像传感器适合应用于高帧频图像采集系统。

本文对高速 CMOS 图像传感器 LUPA-300 进行了简要介绍,并基于此传感器,设计了高帧频 CMOS 成像单元、图像存储单元、图像数据采集单元以及系统软件,建立了高速 CMOS 图像采集系统。

1 CMOS 图像传感器

1.1 LUPA-300 的基本性能

LUPA-300 是美国 Cypress 公司开发的 CMOS 高速图像传感器芯片,该芯片将 CMOS 传感器技术与数字接口组合,用于高速数字成像领域。LUPA-300 芯片的基本参数为:

(1)单片 1/2 inch 图像传感器,48pin,逐行扫描,内置 10 bit A/D。

(2)像素尺寸 $9.9\mu\text{m} \times 9.9\mu\text{m}$,像素数 640×480 。

(3)帧频 250fps(640×480)。

魏仲慧: 研究员 硕士生导师

(4)动态范围 61dB。

(5)主时钟 80MHz,功率 <190mW。

LUPA-300 芯片内部嵌入了一个 10 bit 的 A/D,因而可以同步输出 10 bit 的数字图像数据 D0-D9。在输出数字图像数据的同时,还提供列有效信号 LINE_VALID、帧有效信号 FRAME_VALID,便于外部电路同步读取图像。

1.2 LUPA-300 的编程功能

LUPA-300 具有丰富的编程控制功能。其图像帧频、曝光时间、增益控制、图像开窗、子采样等均可通过设置芯片内部寄存器进行编程控制。芯片内部有 16 个寄存器,通过 SPI 数字接口对芯片内部寄存器进行设置。通过对已设置片内寄存器的读取,芯片向外输出相应设置的数字图像数据。

2 系统组成结构

基于 LUPA-300 的高速图像采集系统结构主要由高帧频 CMOS 成像单元、图像存储单元、图像数据采集单元以及系统软件组成,如图 1 所示。

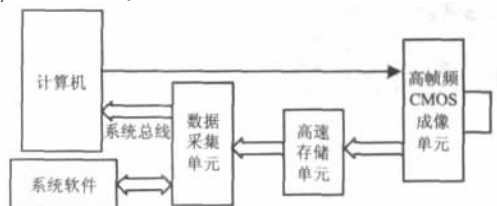


图 1 系统结构框图

高帧频 CMOS 成像单元主要由 CMOS 图像传感器和控制芯片 FPGA 组成,它是系统的成像部件,用以捕获高速运动物体的图像,其电路输出为数字图像数据。图像存储单元主要由静态存储器 SRAM 组成,负责对成像单元输出的图像数据进行实时存储,供计算机采集、处理图像数据。图像数据采集单元主要由采集卡与采集接口电路组成,完成对图像存储单元存储的图像数据的采集工作。系统软件使用 VC++ 开发,完成对硬件电路的控制并把采集单元采集到的图像数据进行处理与显示,重现成

像单元捕获的图像。

3 高帧频 CMOS 成像单元

3.1 高帧频 CMOS 成像单元结构

高帧频 CMOS 成像单元由 CMOS 图像传感器、控制电路、电源和外围电路组成,原理图如图 2 所示。其中图像传感器使用 Cypress 公司的 CMOS 高速图像传感器芯片 LUPA-300,它在全分辨率(640×480)下能提供最高 250fps 的工作速度。控制电路主要由微处理器和 FPGA 构成,微处理器采用 ATMEL 公司的 AT89S51 单片机,它具有 ISP(在系统可编程)功能,程序修改方便;FPGA 采用 XILINX 公司的 Spartan II 系列 XC2S200 芯片,可以根据不同的需要进行现场可编程,通用性好,且仅需一片就能完成系统的控制,这样可充分利用电路板空间,使系统小型化。电源采用 Monolithic Systems Inc 公司的 AMS1117 提供 3.3V 和 2.5V 的标准电源,采用低压电源有利于减少系统的功耗。外围电路提供 CMOS 传感器的电气连接、数据输出接口和控制信号接口,构成成像单元的硬件结构。

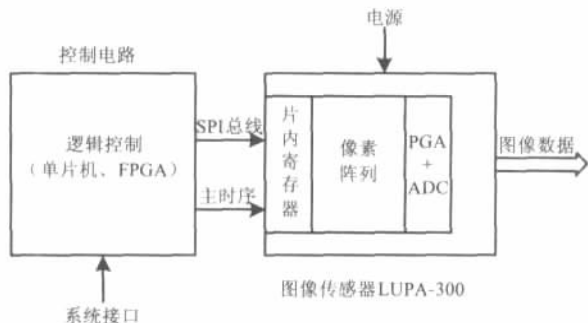


图 2 系统成像单元结构原理图

3.2 成像单元工作原理及时序分析

系统采集图像的命令由计算机发出,同时向系统的成像单元发出成像参数。成像参数通过计算机串口、单片机传输到 FPGA。启动 FPGA 的成像控制模块,成像控制模块通过 SPI (Serial-to-Parallel Interface) 总线对图像传感器 LUPA-300 内部寄存器进行成像参数设置,如曝光控制、窗口控制、帧频控制等。SPI 总线传输数据时序如图 3 所示,每个数据有 16 位,后 4 位 (bit<15:12>)为地址位,对应于 CMOS 图像传感器内部寄存器的地址,前 12 位 (bit<11:0>)为数据位,对应于系统成像单元的成像参数。当成像参数设置好后,LUPA-300 读取内部寄存器的成像参数,同时 FPGA 的成像控制模块向图像传感器发出驱动时序,采集图像。LUPA-300 作为系统的图像传感器,其内部将获取的图像采样量化,在外部逻辑的控制下输出数字图像,同时向外发送列有效 LINE_VALID 和帧有效 FRAME_VALID 信号,便于对有效数字图像数据的采集。在全分辨率下,以驱动时序为 80MHz,高帧频 250fps 为例,其输出时序如图 4 所示:

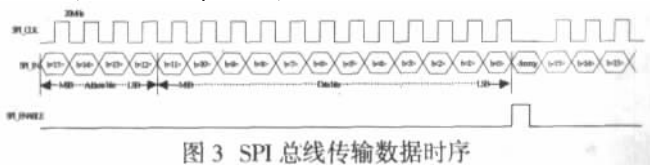


图 3 SPI 总线传输数据时序

4 图像存储单元

高帧频 CMOS 成像系统在全分辨率下最高工作帧频为 250fps,图像大小为 640×480 像素,因此它的数据率约为

768Mbit/s,我们采用静态存储器件 SRAM 对 CMOS 相机输出的数据进行实时的存储,这样做不会影响 CMOS 相机的工作速度,适合于对图像数据进行事后处理和分析。本设计采用 IDT 公司的 SRAM 器件 71V416VL 完成对 CMOS 成像单元输出数据的高速存储。71V416VL 的存储容量为 4Mbit,时钟周期为 15ns,工作电压为 3.3V。系统共采用 2 片芯片组成存储阵列,其结构框图如图 5 所示。

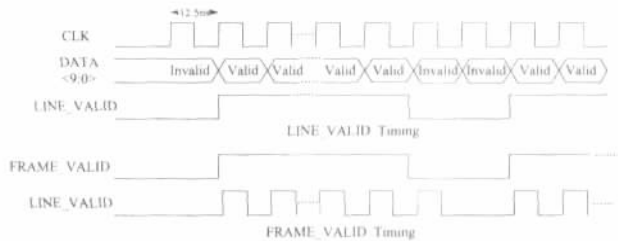


图 4 芯片 LUPA-300 输出数据信号时序

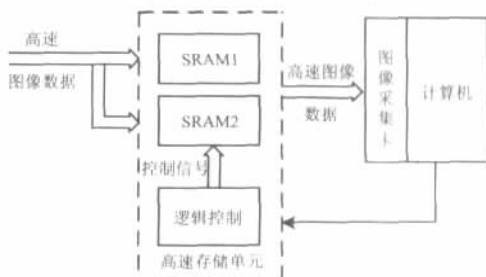


图 5 图像存储单元结构框图

成像单元输出的数据具有一定的时间特征与要求,存储单元需要合适的时序驱动才能存储正确的图像数据。为保证 CMOS 成像单元输出的数据同步写入 SRAM 中,我们在 FPGA 内部设计了 SRAM 的地址计数器,并根据 CMOS 成像单元的数据输出特点设计了存储时序,它分为写周期与读周期。在写周期时把 CMOS 成像单元输出的数据存储到存储单元,在读周期,通过专用的图像采集卡把存储单元存储的图像数据采集到计算机进行处理。图像存储单元读写时序图如图 6 所示,上图为写时序图,下图为读时序图。

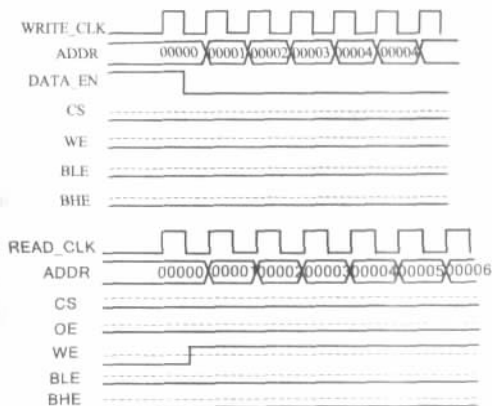


图 6 图像存储单元读写时序图

5 图像数据采集单元

系统使用采集单元完成系统图像数据的采集任务。由于采集数据量很大,因此对采集单元的采集速率以及系统的数据传输有很高的要求。采集单元由采集接口电路和图像采集卡组成。采集接口电路与硬件的数据总线和控制总线相连,并提供采

集卡的标准数据接口;采集卡通过采集接口电路与系统的控制总线 and 数据总线相连。考虑到当前很多厂商都设计提供基于 PCI 总线的图像采集卡,它们一般提供硬件驱动程序,为用户的二次开发做准备,这样省去设计底层硬件的细节,为快速开发创造了条件。在本系统实现中,选用 Matrox 公司的图像采集卡 MeteorII - CameraLink,它带有基于低电压差分信号传输技术即 LVDS(Low Voltage Differential Signaling)的 Camera Link 接口,可以很好地完成图像采集传输任务。

6 系统软件设计

主机应用程序使用 VC++ 开发,采用 VC++ 的 MFC 框架,编写一个多线程图像采集与处理程序。用户通过调用相关函数,可以完成对数据采集卡的配置。应用程序通过 PCI 总线接收 SRAM 存储的原始图像数据,待接收完数据后,应用程序可以对图像数据进行简单的处理和分析,并将图像显示出来,同时把图像数据存储到硬盘上,完成图像数据的采集、显示和存储。应用程序还可以对采集的图像进行后续处理。系统软件流程图如图 7 所示。

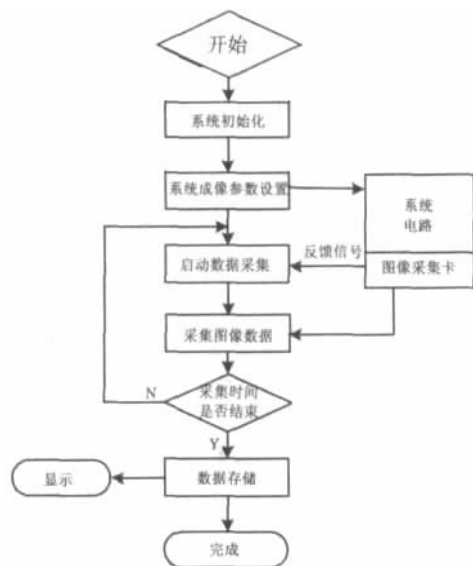


图 7 系统软件流程图

7 结语

本文给出的基于高速 CMOS 图像传感器的图像采集系统具有容易控制、安全可靠、性能稳定等优点。本系统可以根据要求在不改变系统硬件的前提下进行扩展,对图像要求不高的场合可以增加图像压缩单元,以增加系统的灵活性,使其应用范围更加广泛。但本系统只能对 CMOS 相机输出的图像数据进行实时存储,然后通过计算机对存储的数据进行采集与处理,这样做虽然不会影响 CMOS 相机的工作速度,但不能进行实时监测,只适合于对图像数据进行事后处理和分析。真正的实时处理和实时显示还有待继续深入研究,主要解决途径有 2 种:(1)采用压缩算法降低数据率,完成数据的实时处理和实时显示;(2)在微机的外设上有比较大的革新,图像数据传输速率不再是限制采集图像实时存储和实时显示的瓶颈。

本文创新点:该系统实现了高帧频数字图像的采集、显示和存储。本系统已成功应用于某军工靶场测量中,预计项目经济效益可达 300 余万元,本文数据来源于系统的仿真分析和实验验证。

证,并采用仿真分析与实验验证相结合的研究方法对样机系统进行测试,测试结果达到了预期的设计目标。

参考文献

- [1]刘迎春,叶湘滨 现代新型传感器原理与应用[M] 国防工业出版社 1998
 - [2]Cypress Semiconductor Corporation, LUPA - 300 VGA CMOS Image Sensor 001- 00371
 - [3]施少敏,马彦恒 基于接口芯片 PCI 9030 的 PCI 总线接口卡的设计[J]微计算机信息 2006 Vol.22(11- 2):295- 297
 - [4]孙鑫,余安萍 VC++ 深入详解[M] 电子工业出版社 2006
 - [5]俞建成,孙胜利,陈桂林 红外扫描仪高速图像采集系统的设计与实现 红外技术 2005 Vol.27(6):439- 445
- 作者简介:魏仲慧(1961-),女(汉族),吉林长春人,研究员,硕士生导师,主要从事数字图像存储技术和数字图像处理方面的研究;曹旭耀(1981-),男(满族),河北保定人,硕士,主要从事高速数字图像采集方面的研究工作。
- Biography:Wei Zhong- hui(1961-),female(han),Jinlin Changchun ,master tutor,engaging in the domain of digital image processing and technique of memory of digital image;
- (130033 吉林长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所)魏仲慧 曹旭耀 何昕
- (100039 北京 中国科学院研究生院)曹旭耀
- 通讯地址:(130033 长春市经济开发区营口路 20 号长春光机所研究生部 C 座)曹旭耀

(收稿日期:2008.4.20)(修稿日期:2008.6.05)

(上接第 271 页)

- [3]朱学峰.采用 Hammerstein 模型的非线性预测控制[J].控制理论与应用,1994,11 (5):564- 575.
 - [4]张晓东,童少为.用 MATLAB 仿真分析自抗扰控制器的整定参数[J].微计算机信息,2006, 11- 1: 90- 92
- 作者简介:邢振民(1968.02-),男(汉族),山东曲阜人,山东济宁职业技术学院讲师,主要从事嵌入式设备方面的开发研究;李波(1968.7-),男(汉族),山东济宁人,讲师,工程硕士,主要从事嵌入式设备开发方面的研究;李强(1974.2-),男(汉族),山东济宁人,助教,主要从事嵌入式设备开发方面的研究。
- Biography: XING Zhenmin (1968.02-), Male, Han Nationality, Born in Shandong Qufu, Lectuer, Research Fields: Embedded System. (272137 山东 济宁 山东 济宁职业技术学院) 邢振民 李波 李强 (510641 广东 广州华南理工大学 工业装备与控制工程学院) 曾智刚
- (Department of Computer, Jining Vocational Technology College Shandong, Jining 272100) XING Zhen- min LI Bo LI Qiang
- (South China University of Technology, Guangdong Guangzhou, 510641) ZENG Zhi- gang
- 通讯地址:(272137 山东省济宁市山东济宁职业技术学院计算机系)邢振民

(收稿日期:2008.4.20)(修稿日期:2008.6.05)