

文章编号:1001-5078(2008)08-0830-04

· 图像与信号处理 ·

# 一种红外图像采集与校正系统的设计与实现

牟新刚<sup>1</sup>, 张桂林<sup>1</sup>, 胡若澜<sup>1</sup>, 潘晓东<sup>2</sup>

(1. 华中科技大学图像识别与人工智能研究所, 湖北 武汉 430074; 2. 中国航空工业洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471009)

**摘要:**为实时获取高质量的红外图像,设计了一种基于 DSP 和 USB2.0 接口的红外图像实时采集与校正系统。利用 EZ - USB FX2 作为 USB2.0 接口芯片,实时采集探测器输出的原始图像数据。同时利用高性能浮点处理器 TMS320C6713B 实现高精度的非均匀性校正及对比度增强,以便于在监视器上实时察看校正效果。采集过程中数据格式的转换及时序控制皆由 FPGA 实现,提高了系统的灵活性和可靠性。实验结果表明该系统能够满足数据采集实时性和准确性的要求。

**关键词:**USB2.0; 非均匀性校正; 数据采集

**中图分类号:**TP391      **文献标识码:**A

## Design and Implementation of the IR Image Acquisition and Correction System

MOU Xin-gang<sup>1</sup>, ZHANG Gui-lin<sup>1</sup>, HU Ruo-lan<sup>1</sup>, PAN Xiao-dong<sup>2</sup>

(1. Institute of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Luoyang Institute of Electro-optical Equipment, AVIC I, Luoyang 471009, China)

**Abstract:** An infrared image acquisition and non-uniformity correction system based on DSP and USB2.0 is designed to acquire real-time IR image of high quality. The original images detected by the IRFPA are collected in real time with EZ-USB FX2 as the USB2.0 interface chip. In addition, high-precision non-uniformity correction and contrast enhancement are achieved by high-performance floating processor TMS320C6713B so as to display the correction result on the monitor in real time. Data format conversion and timing control during acquisition process are implemented by FPGA, which improves the flexibility and reliability of the system. The experiment results indicate that this system can satisfy the requirements of real-time acquisition and high accuracy.

**Key words:** USB 2.0; non-uniformity correction; data acquisition

### 1 引言

红外焦平面阵列 (IRFPA) 探测器具有灵敏度高、被动成像、全天候工作等特点, 在军事和民用领域得到了越来越多的应用。由于自身材料和制造工艺水平的限制, 红外焦平面器件各阵元间响应的非均匀性较大, 严重影响了成像质量, 因此必须对其进行非均匀性校正。如何能实时而又准确地获取红外

图像, 以供算法设计与分析, 已成为红外成像技术中的一个重要课题。通用的图像采集卡一般是 PCI 卡或 ISA 卡, 其设备安装麻烦, 受计算机插槽数量、地址、中断资源的限制, 可扩展性差。USB 总线接口具

作者简介: 牟新刚 (1982-), 男, 博士生, 主要研究方向为目标检测与跟踪, 嵌入式系统设计。E-mail: mouxingang@163.com  
收稿日期: 2008-01-23

有安装方便、高带宽、易于扩展等优点,已逐渐成为现代图像数据传输的发展趋势。以 USB2.0 接口为高速数据传输通道,高性能 DSP 为主处理器,设计了一种红外图像实时采集与校正系统。实验结果表明该系统具有与 PC 机接口方便、实时性强、误码率低等特点。

## 2 系统硬件设计

红外探测器输出图像分辨率为  $320 \times 240$ , 数据宽度为 14 位, 帧频 50Hz。计算得出探测器的数据传输率为 52Mbps, USB2.0 接口的最高数据传输率为 480Mbps, 能够满足设计的需求。

系统硬件框图如图 1 所示。系统主要由 FPGA 模块、DSP 模块和 USB 接口模块组成。探测器输出数据经过 FPGA 分为两路:一路经 USB 接口传入 PC 机, PC 机完成数据的存储、显示及后续处理;另一路经 FIFO1 缓冲传入 DSP, DSP 实时完成非均匀性校正和显示变换后将数据送 FIFO2。FPGA 生成电视显示时序和复合同步信号, 控制数据从 FIFO2 中读出, 经过 D/A 后与复合同步信号叠加生成模拟视频信号。

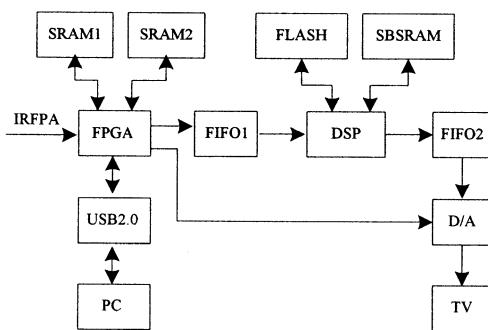


图 1 系统硬件结构框图

探测器数据输出按照集中传输的方式, 像素时钟为 16MHz, 有效数据在每个帧周期的前 4.8ms 内传输完毕。每个像素数据宽度为 14 位, 实际存储时高两位填零凑成 16 位数据, 因此探测器数据输出的带宽为 245Mbps。USB2.0 规范规定高速设备的峰值传输速率为 480Mbps, 但由于实际应用的限制和协议本身的开销, 实际可用的最大带宽不可能达到 480Mbps。另外由于 Windows 操作系统是一种多任务非实时的操作系统, 每个任务通过时间片的方式轮流使用 CPU 资源, 这从另一方面降低了 USB 数据传输的带宽。因此如果直接将探测器输出数据传给

USB 控制器 CY7C68013, 很可能造成数据的丢失。为解决这一矛盾, 系统利用两片单口 RAM 乒乓操作构成一个数据缓冲池。当向一个单口 RAM 中写入当前帧探测器输出数据时, 从另一个单口 RAM 中将上一帧数据读出送 USB 控制器。这样只要在一帧(20ms)时间内完成数据传输就不会造成数据的丢失, 大大降低了对 USB 传输带宽的需求。系统中单口 RAM 容量为  $512K \times 16$ , 可以缓存多帧图像, 根据不同设计选择不同的存储方式, 具有灵活性。

### 2.1 FPGA 模块

FPGA 是整个系统的控制核心。其实现的主要功能包括两个单口 RAM 的乒乓缓冲操作、探测器输出数据格式与 USB 接口数据格式之间的转换、生成电视显示时序和复合同步信号等。FPGA 是可编程逻辑器件, 只需改变其内部的程序代码即可实现系统功能的改变, 如可将采集系统(数据上传)改变为性能评估系统(数据下传), 提高了系统的灵活性和通用性。

### 2.2 DSP 模块

系统采用的非均匀性校正算法为两点校正法。校正系数的计算和实时非均匀性校正主要由 DSP 实现。定标过程中, DSP 计算增益系数和偏置系数, 将其写入到 FLASH 中。系统启动时, DSP 将校正系数搬移到高速存储器 SBSRAM 中, 实时完成非均匀性校正。公式中校正系数均为浮点数, 实现时可以用浮点处理器也可以用定点处理器。选用定点处理器一般是通过移位的方式将浮点数定标为定点数, 这需要在运算精度与所需资源之间做一个折中。系统选用 DSP 芯片为 TI 公司高性能浮点处理器 TMS320C6713B, 主频最高可达 300MHz, 浮点运算能力为 1800MFLOPS, 可以很好的满足校正精度与速度的要求。

### 2.3 USB 接口

USB 通用串行总线是一种共享式总线, 具有高速、扩展能力强、支持热插拔和即插即用等特点, 逐渐成为 PC 机外围设备的标准统一接口。使用的便利性带来的是开发难度的增大。USB2.0 协议非常复杂, 选择合适的接口芯片将会简化设计和降低开发难度。

系统选用的 USB 接口芯片为 CYPRESS 公司 EZUSB FX2 系列的 CY7C68013。它内部集成了符合 USB2.0 协议的收发器、串行接口引擎(SIE)、增强型的 8051 内核、4KB FIFO 存储器,是 USB2.0 完整的解决方案<sup>[1~2]</sup>。

FX2 有 3 种接口方式:单片机普通 I/O 端口、Slave FIFOs 和 GPIF。系统采用 Slave FIFOs 模式,实现与 FPGA 之间的数据传输。从 FPGA 角度来看,FX2 就是一个普通的同步 FIFO。FPGA 通过时钟、数据线、读写控制信号实现与 FX2 的数据交换。向 FX2 写数据时,需要查询 FIFO 的满标志,只有当 FIFO 不满才可以进行写操作,否则会造成数据的丢失。同样从 FX2 读取数据时,需要查询 FIFO 的空标志。

FX2 系列是基于 RAM 的“软”系统解决方案。固件程序可以通过 USB 电缆直接从 PC 机下载到片内的 RAM 运行,方便固件的修改与升级。固件程序也可以固化到片外存储器 EEPROM,设备上电后,自动下载固件到片内 RAM 中运行。

### 3 系统软件设计

系统软件设计包括 USB 数据采集部分和 DSP 实时非均匀性校正部分。

#### 3.1 USB 系统软件设计

图像采集系统需要实时传输大批量的准确数据,因此 USB 传输方式采用批量传输。USB 系统软件设计包括固件程序设计、驱动程序设计和应用程序设计。

固件是指固化在 USB 控制器中单片机的程序,它响应各种来自系统的 USB 标准请求,完成连接设备和主机的任务<sup>[3~6]</sup>。固件程序的基本结构为初始化、主函数和中断处理。为了简化固件的开发,CYPRESS 公司针对其 EZ - USBFX2 系列的 USB 芯片给出了一个 Firmware 框架,其实现了初始化芯片、处理 USB 标准设备请求以及挂起下的电源管理功能。用户主要的工作就是在 TD\_Init() 函数中添加初始化代码,在 TD\_Poll() 函数中添加需要实现的功能代码。系统中设置 FX2 为从 FIFO 模式,数据交换端点选择端点 6,其配置为输入、批量传输、最大包为 512 字节,4 倍缓冲。

USB 设备驱动程序是连接 USB 外设、操作系统以及用户应用程序的桥梁。FX2 开发包中提供了一

个通用的驱动程序 ezusb.sys,可以完成基本的 USB 接口通讯任务。

主机应用程序通过调用系统的 API 系数,完成图像数据的显示和存储等操作。调用 CreateFile 函数得到 USB 句柄,调用 ReadFile 函数从设备中读取数据,调用 WriteFile 函数向设备中写入数据。为提高程序运行速度,采用多线程技术,将 USB 数据传输和动态图像显示分为两个线程。应用程序用 VC ++ 软件开发。

#### 3.2 非均匀性校正

实时非均匀校正包含三个部分:非均匀校正、盲元检测和显示变换。

红外焦平面阵列的非均匀性是指在同一均匀入射辐射强度下,各像元视频输出信号的幅度不同,即各探测单元的响应度不同。常见的红外图像非均匀性校正算法有<sup>[7]</sup>两点法、多点法、神经网络法、自适应噪声抵消法、时域高通滤波法、恒定统计平均法和小波分解法等。系统选用工程上较成熟的两点校正法,其具有算法简单和校正条件简单(只需高低两个温度)的优点,校正效果也能满足大多数工程的需要。

假定探测元的响应特性在所感兴趣的温度范围内是线性时不变的,则 IRFPA 探测单元的响应特性可表示为:

$$V_{i,j}(\phi) = G_{i,j}(\phi) \times \phi + O_{i,j}(\phi) \quad (1)$$

式中,  $\phi$  为第  $(i,j)$  个探测单元接收到的目标场景辐射照度;  $G_{i,j}(\phi)$  和  $O_{i,j}(\phi)$  分别为该探测单元在照度  $\phi$  下的增益和偏置系数;  $V_{i,j}(\phi)$  为该探测单元此时的输出。由于非均匀性的存在,各探测单元的  $G_{i,j}(\phi)$  和  $O_{i,j}(\phi)$  是不相同的,非均匀性校正技术就是对这两个参数进行归一化处理。两点校正的计算公式为:

$$V'_{i,j}(\phi) = G'_{i,j}(\phi) \times V_{i,j}(\phi) + O'_{i,j}(\phi) \quad (2)$$

式中,  $V'_{i,j}(\phi)$  为该探测单元的校正输出值;  $G'_{i,j}(\phi)$  和  $O'_{i,j}(\phi)$  分别是该探测单元的增益校正系数和偏置校正系数。校正系数的具体计算公式参见文献[8]和[9]。

两点校正主要是乘加操作,算法计算量大但结构简单,适合用 FPGA 硬件实现和用高性能数字信号处理器实现。从计算精度和开发难易度两方面考虑系统选用高性能浮点处理器 TMS320C6713B,其

片内有两个乘法器,非常适合于乘加运算。DSP 片内开辟两个存储区,采用乒乓操作的方式,当向一个存储区 DMA 搬运校正系数时,利用另一个存储区中的校正系数进行当前块的非均匀性校正。同时采用软件流水技术和高级别优化选项,大幅提高了计算能力。

两点校正可以解决非均匀性问题,但无法对盲元进行校正。盲元包括死像元和过热像元。死像元是从响应率的角度定义的,过热像元是从噪声电压的角度定义的。定义中的门限值跟具体的探测器有关,需要从实验中得出理想的数值。盲元补偿的一个实用且简单的算法是前值替代。另外,盲元不是固定不变的,一般随工作环境(温度和湿度)、探测器的工作时间而发生变化,因此开机和长时间使用时需要重新进行检测和补偿。

红外图像具有总体灰度范围大,但动态范围小,对比度低等特点。一般要对其进行图像增强,以提高对比度。综合考虑算法的有效性和实时性,系统选用截取直方图线性拉伸算法。首先统计直方图,然后分别在直方图的两端,截取一定比例的像素,根据截取后得到的最低灰度和最高灰度对原始图像进行线性拉伸。该算法可以很好的抑制随机噪声对显示效果的影响。

#### 4 实验结果

探测器的输出数据实时地采集到 PC 机,PC 机应用程序完成数据的存储、非均匀性校正和残留程度分析等操作。原始数据宽度为 14 位,通过显示变换将其转变为 8 位灰度图显示。实验结果如图 2 所示。

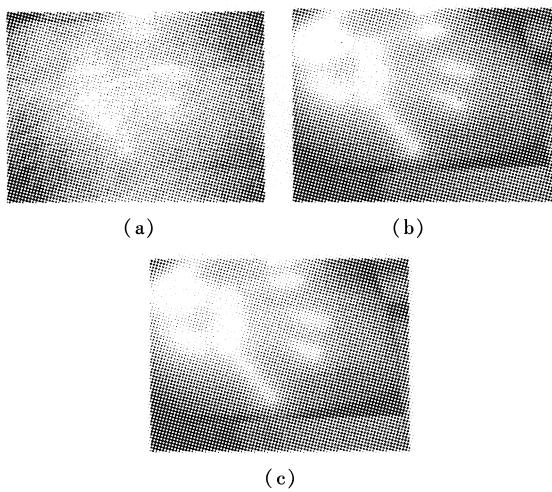


图 2 实验结果

图 2(a)为手掌印的原始图像。从图像中可以看出明显的非均匀性和盲元。图 2(b)为两点校正后的结果。检测出的盲元用黑色标识。图 2(c)是盲元补偿后的图像。从实验结果可以看出,图像校正后非均匀性得到了较好的抑制,盲元也得到了补偿,图像质量有明显的改善。

#### 5 结 论

红外搜索跟踪系统中非均匀性校正、目标检测和目标跟踪等算法的研究和性能评估离不开真实的红外图像。文中设计的采集系统能够实时准确地采集探测器输出的原始 14 位数据,具有高速、高精度、接口方便、功能灵活易扩展等特点,已在工程中得到应用。

#### 参考文献:

- [1] 潘鸣,裴云天,吴贵臣,等. IRFPA 图像采集系统的设计与实现[J]. 光子学报,2004,33(12):1537~1539.
- [2] 俞平,秦树人. 基于 DSP 和 USB2.0 高速数据采集处理系统[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2005,28(5):1~4.
- [3] 赖睿,周慧鑫,刘上乾,等. 基于 USB 接口的高速高精度实时红外视频采集系统设计[J]. 红外技术,2005,27(4):288~290.
- [4] 杨春艳,张桂林,张留洋,等. 基于 USB 接口的同步视频输出系统设计[J]. 微计算机信息,2005,21(10):88~90.
- [5] 张桂林,张留洋. 数字图像处理算法评估系统的硬件设计[J]. 计算机与数字工程,2005,33(12):88~91.
- [6] 贾俊涛,张桂林. 基于 USB2.0 的图像传输系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2006,27(17):3239~3242.
- [7] 陈锐,谈新权. 红外图像非均匀性校正方法综述[J]. 红外技术,2002,24(1):1~3.
- [8] 刘会通,易新建. 红外焦平面阵列非均匀性的两点校正及依据[J]. 红外与激光工程,2004,33(1):76~78.
- [9] 石岩,张天序,王岳环,等. 红外焦平面非均匀性两点校正法分析及 FPGA 实现[J]. 激光与红外,2005,35(2):100~103.