

基于 C6455 DSP 的消像旋实时图像处理系统设计

张海武¹, 秦鹏¹, 王岳¹, 王义²

(1. 华北光电技术研究所, 北京 100015; 2. 中国人民解放军 95866 部队, 河北 保定 071051)

摘要:针对通用计算机消像旋处理实时性差和性价比低的特点,提出了采用 C6455 DSP 芯片为核心处理器,研究设计了基于 C6455 DSP 的消像旋实时图像处理系统,实现了图像数据的采集、消像旋处理、输出等一系列功能。结果表明,该系统实时性好,图像显示效果良好,并已成功应用于某光电系统的消像旋处理中。

关键词:C6455 DSP; 消像旋; 图像处理; 实时

中图分类号:TN391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2011.07.022

Design of real-time image rotation removing system based on C6455 DSP

ZHANG Hai-wu¹, QIN Peng¹, WANG Yue¹, WANG Yi²

(1. North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China;

2. Airforce Communication Training Base, Baoding 071051, China)

Abstract: Because the real-time process capability and cost performance of the universal computer are not high when used to remove image rotation, this paper researches and designs a real-time removing image rotation system, using C6455 DSP chip as the core processor. The system can realize a series of functions, including image sampling, removing rotation and image transfer. The experiment results show that this system has good real-time processing ability and the images processed is of high quality. It has been applied to a practical system to remove image rotation.

Key words: C6455 DSP; removing image rotation; image processing; real-time

1 引言

数字图像处理技术已在科学研究、工业生产和医疗卫生等领域得到了广泛的应用。最近几年,随着光电系统的迅速发展,数字图像处理技术越来越多的应用于光电系统中。由于一些光电系统的光机结构特殊,在转台转动过程中,后端显控台显示的是旋转的视频图像,不利于人眼的观看。为了解决这个问题,需要采用数字图像处理技术消除图像的旋转,使图像始终保持正像状态。早期的消像旋图像处理主要是在计算机上通过图像采集卡采集图像数据,然后运行相应软件来完成,要占用 CPU 几乎所有的处理能力,实时性、图像质量和性价比都不高。本文针对这种情况提出以 TI 公司的 TMS320C6455 DSP^[1] 处理器为核心,构造一个消像旋实时图像处

理系统,完成视频图像的采集、存储、消像旋处理和输出等功能,使图像处理的实时性得到满足,图像质量得到提高。

2 系统工作流程

消像旋实时图像处理系统主要完成视频图像的采集、存储、消像旋处理和输出等功能,工作流程如图 1 所示。系统工作流程可以简单地概述为:视频传感器将图像数据送入消像旋图像处理系统,然后消像旋图像处理系统对其进行采集、存储,并按照转台提供的角度信息进行消像旋处理,最后将图像发送给后端显控台进行实时显示。

作者简介:张海武(1979-),男,工程师,硕士,主要从事 DSP 硬件和软件的设计工作。E-mail: haiwu_3@sina.com

收稿日期:2011-02-28; **修订日期:**2011-03-30

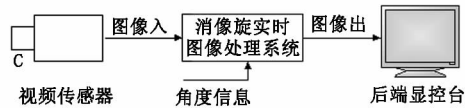


图1 系统工作流程

3 系统硬件设计

为了满足实时图像处理的要求,系统采用 DSP + FPGA^[2-4] 架构进行设计,由 TI 公司的 TMS320C6455 DSP、Altera 公司的 EP2S90F1020 FPGA^[5] 以及 IDT 公司的 DPRAM、FLASH 等构成。该架构的优点在于能够实时进行大规模的数据存储和处理,而且开发灵活,易于调试,开发周期和风险也大大降低。TI 公司的 TMS320C6455 DSP 采用最新的增强型 C64 内核,主频 1 GHz,峰值处理能力 8000 M IPS,片内存储器达 2 M Byte。视频传感器的图像是 640 × 512 的 8 bit 灰度图像,帧频 25 Hz,一帧图像的大小是 320 kByte。所以,在 DSP 片内就能完成整帧图像的处理,不需要片外存储器,节约了系统空间和成本。系统的工作原理框图如图 2 所示,整个系统以 C6455 DSP 为核心,结合 FPGA、双口 RAM 和 FLASH,实现了视频图像的采集、存储、消像旋处理和输出等功能。FPGA 是整个图像处理系统的时序控制中心和数据交换的桥梁,并且能够对图像数据进行实时的底层处理^[6];DSP 是整个系统处理消像旋算法的核心器件,对视频图像进行实时的消像旋处理。

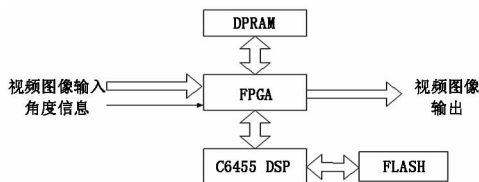


图2 系统工作原理框图

消像旋系统的工作原理是:视频传感器将数字图像数据送入 FPGA, FPGA 将数字图像数据经过转换和处理后写入 DPRAM, C6455 DSP 通过 FPGA 从 DPRAM 将数据读入片内存储器,并通过 FPGA 获得转台的角度信息,然后根据角度信息完成图像的消像旋处理,将处理后的图像经过 FPGA 写入 DPRAM,最后 FPGA 从 DPRAM 读出处理后的图像数据,经过转换和处理后发送到后端显控台进行实时显示。在这个过程中,由于要满足实时处理显示的要求,所以图像的输入和输出是同时进行的,这就要求在 FPGA 内部对输入和输出的图像数据进行并行的读写和转换处理,这对整个系统时序的设计提出了很高的要求,也是整个硬件系统设计的关键。

由于图像数据量大,所以 C6455 DSP 对图像数据的访问以及接收的角度信息都是通过 EMIF 接口完成的。DPRAM 的两个读写端口,其中一个作为 C6455 DSP 的读写端口,另一个经过 FPGA 的时序转换后作为图像的输入和输出端口。同时因为 C6455 DSP 片内没有 FLASH 之类的非易失存储器来存放程序,实现系统的上电自运行,所以在 C6455 DSP 外部增加了 FLASH 配合完成视频图像的处理。

4 C6455 DSP 软件设计

C6455 DSP 软件^[7] 主要完成视频图像的实时存储和消像旋处理,由片内集成外设配置、角度信息获取和图像数据的采集、处理、输出三个部分组成,程序处理流程如图 3 所示。下面介绍各个部分分别完成的功能。

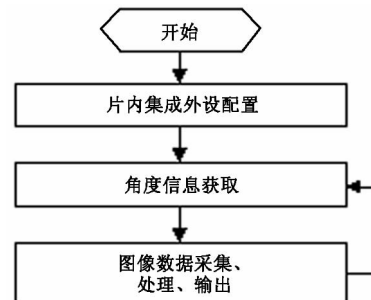


图3 C6455 DSP 程序处理流程

4.1 片内集成外设配置

C6455 DSP 除了拥有增强型 CPU,芯片内部还集成了很多功能模块协助 CPU 进行数据处理,这些模块不会上电后自动运行,需要进行配置才能启动运行,根据本系统软件的功能要求和满足消像旋实时处理的要求,需要对 PLL 控制器^[8]、EMIF 接口控制器^[9]、EDMA 控制器^[10]、外部中断控制器和片内存储器控制器^[11]进行初始化配置,配置过程的程序流程图如图 4 所示。

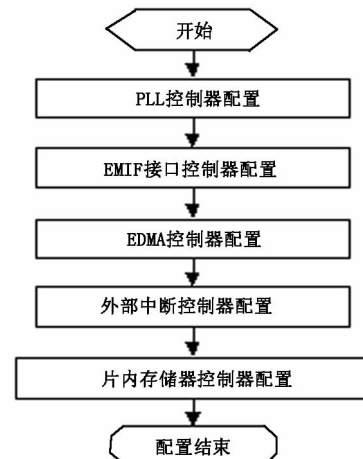


图4 C6455 DSP 片内集成外设配置程序流程图

如图 4 所示, C6455 DSP 上电从 FLASH 自动加载程序后依次进行 PLL、EMIF 接口、EDMA、外部中断和片内存储器控制器的配置。PLL 负责 C6455 DSP 的 CPU 和片内集成外设的工作时钟, 依据系统的工作要求对 PLL 控制器进行相应的配置, 使 DSP 的 CPU 和片内集成外设正常进行工作。EMIF 接口是 DSP 进行对外数据访问的数据接口, DSP 进行图像处理前的图像采集和处理后的图像输出以及角度信息的获取, 都是由该接口完成的。EDMA 主要完成图像数据采集和输出中的数据搬移工作, 而且 EDMA 进行数据搬移时不占用 CPU 资源, 可以和 CPU 并行工作, 满足 DSP 实时处理的要求。本系统配置两路 DSP 外部中断, 一路用于接收视频场同步信号作为中断信号完成图像的采集工作, 另一路用于角度信息获取的握手信号。C6455 DSP 片内存储器是两级存储器, 其中第一级存储器配置为缓存提高 CPU 的处理速度, 第二级存储器配置为数据存储器用于图像的存储。

4.2 角度信息获取

在对上述模块配置完成后, DSP 处于等待状态, 当角度信息的握手信号触发 DSP 外部中断后, DSP 通过 EMIF 接口获取要求旋转的角度数据, 并对角度数据进行预处理, 然后等待采集图像数据。角度信息获取的程序流程图如图 5 所示。

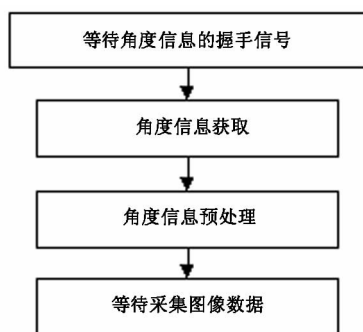


图 5 角度信息获取程序流程图

4.3 图像数据采集、处理、输出

为了进行实时的图像处理^[12], 与角度信息的获取方式相同, 由视频场同步信号作为中断信号触发 DSP 外部中断, 然后 DSP 启动 EDMA, EDMA 通过 EMIF 接口并经过 FPGA 从 DPRAM 将一帧图像数据搬移到片内存储器, 完成图像的采集工作。图像数据采集、处理、输出的程序流程图如图 6 所示。

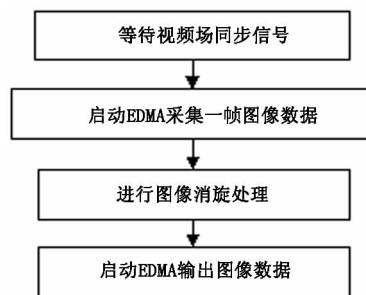


图 6 图像数据采集、处理、输出程序流程图

在完成图像的采集工作后, DSP 根据获得的角度信息调用图像消旋算法, 对图像进行消旋处理, 然后将处理后的图像数据由 EDMA 搬移至 DPRAM, 进行图像的输出显示。下面简单介绍一下图像消旋算法。

图像消旋算法^[13]是消除图像旋转, 将图像恢复为正像, 方便人眼观看的一种处理方法。由于原始的旋转图像是以图像中心为圆心进行旋转的, 所以根据获得的旋转角度信息将图像以其中心为圆心进行反向旋转就可以使图像恢复为正像, 也就是说图像消旋实际就是将图像进行反向旋转处理。以图像中心为坐标原点, 依据数字图像处理方法和直角坐标系关于角度旋转的计算方法, 可以得出以下图像旋转的计算公式:

$$x_0 = x_1 \cos\theta + y_1 \sin\theta \quad (1)$$

$$y_0 = y_1 \cos\theta - x_1 \sin\theta \quad (2)$$

式中, x_0 为原始图像像素的 x 坐标; y_0 为原始图像像素的 y 坐标; x_1 为消旋处理后图像像素的 x 坐标; y_1 为消旋处理后图像像素的 y 坐标; θ 为图像旋转的角度。

公式(1)、(2)给出了图像旋转角度为 θ , 原始图像像素坐标 x_0, y_0 与消旋处理后的图像像素坐标 x_1, y_1 的对应关系。在处理中将图像旋转角度 θ 和消旋处理后的图像像素坐标 x_1, y_1 作为已知量由公式(1)、(2)计算得到对应的原始图像像素坐标 x_0, y_0 , 然后将 x_0, y_0 对应的原始图像像素放至 x_1, y_1 对应的像素位置, 就完成了图像像素的旋转处理, 实现了图像的消旋。

5 系统测试及应用

利用 CCD 图像传感器、消像旋处理系统和 PC 机搭建起测试平台, 对消像旋系统的实时性和图像处理质量进行了测试。为了能够准确地测试该系统的处理速度, 在 DSP 程序中加入了测试代码, 该代码能够准确计算每帧图像的采集、处理和输出的时

间,并将测试结果显示在 PC 机上。经过连续的测试,该系统采集、处理和输出一帧图像的总时间不大于 34 ms,满足 25 帧/s 的处理要求,实现了系统对图像的实时处理。图 7 是 DSP 采集的原始图像,该图像有顺时针方向 30°的像旋,图 8 是 DSP 消像旋处理后输出的图像,该图像消除了图 7 的 30°像旋。



图 7 DSP 采集的原始图像



图 8 DSP 消像旋处理后输出的图像

该系统已成功应用于某光电系统的图像消旋处理中,与早期采用通用计算机进行图像消旋处理相比,该系统处理速度快,不会出现图像处理不过来的问题,可以实时地对图像进行消旋处理;而且输入的原图像是数字图像,不是早期模拟图像再转换成数字图像,所以几乎没有图像失真,图像质量更好。下面 4 幅图中,图 9 和图 11 是应用于光电系统中采集的原始图像,其中图 9 有顺时针方向 30°像旋,图 11 有顺时针方向 90°像旋。图 10 和图 12 分别是图 9 和图 11 的消旋处理后的图像。



图 9 DSP 采集的 30°像旋原始图像



图 10 DSP 消像旋处理后输出的图像



图 11 DSP 采集的 90°像旋原始图像



图 12 DSP 消像旋处理后输出的图像

6 结论

本文针对通用计算机进行图像消旋处理的缺点,设计了基于 C6455 DSP 的消像旋图像处理系统。经测试,该系统实现了图像的实时采集、处理和显示,图像显示效果良好。该系统已成功应用于某光电系统的图像消旋处理中,并取得了良好的效果。

参考文献:

- [1] TMS320C6455 Fixed-Point Digital Signal Processor[Z]. Texas Instruments Incorporated, 2007.
- [2] Zhu Mengyu, Zhao Baojun, Han Yueqiu. A practical IR small signal processor [J]. Laser & Infrared, 2002, 32(6): 407-409. (in Chinese)
朱梦宇, 赵保军, 韩月秋. 一种实用的红外弱小目标检测跟踪处理机研究 [J]. 激光与红外, 2002, 32(6): 407-409.
- [3] Su Feng, Ling Qing, Gao Meiguo. Implementation of real time infrared small target detection system [J]. Laser &

- Infrared, 2008, 38(8): 826 - 829. (in Chinese)
- 苏峰, 凌清, 高梅国. 红外小目标实时检测系统实现[J]. 激光与红外, 2008, 38(8): 826 - 829.
- [4] Wang Yong, Zhao Baojun. Design of full-digital thermal imager PEU based on DSP and FPGA[J]. Laser & Infrared, 2002, 32(2): 100 - 103. (in Chinese)
- 王勇, 赵保军. 基于 DSP 和 FPGA 的热像仪电子处理单元全数字化设计[J]. 激光与红外, 2002, 32(2): 100 - 103.
- [5] Wang Gang, Zhang Lian. SOPC embedded system design and application based on FPGA[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2009. (in Chinese)
- 王刚, 张激. 基于 FPGA 的 SOPC 嵌入式系统设计与典型实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [6] Xia Yuwen. Verilog digital system design tutorial[M]. Beijing: Beihang University Press, 2003. (in Chinese)
- 夏宇闻. Verilog 数字系统设计教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [7] Li Fanghui, Wang Fei, He Peikun. TMS320C6000 DSPs theory and application[M]. 2nd Edition. Beijing: Electronics Industry Press, 2003. (in Chinese)
- 李方慧, 王飞, 何佩琨. TMS320C6000 系列 DSPs 原理与应用[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [8] TMS320C645x DSP Software-Programmable Phase-Locked Loop (PLL) Controller User's Guide[Z]. Texas Instruments Incorporated, 2008.
- [9] TMS320C645x DSP External Memory Interface (EMIF) User's Guide[Z]. Texas Instruments Incorporated, 2008.
- [10] TMS320C645x DSP Enhanced DMA (EDMA3) Controller User's Guide[Z]. Texas Instruments Incorporated, 2007.
- [11] TMS320C64x + DSP Megamodule Reference Guide[Z]. Texas Instruments Incorporated, 2006.
- [12] Tian Yuan, Ye Xiuqing, Gu Weikang. DSP optimal program in real-time image processing[J]. Electronic Technique, 2000, 20(10): 43 - 46. (in Chinese)
- 田元, 叶秀清, 顾伟康. 实时图像处理系统中的 DSP 优化编程[J]. 电子技术, 2000, 20(10): 43 - 46.
- [13] Rafael C Gonzalez. Digital image processing[M]. 2nd Edition. Beijing: Electronics Industry Press, 2003. (in Chinese)
- 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2003.