

基于多核 DSP 的微光与红外图像彩色融合系统

邓 潺^{1,2}, 刘 文¹, 黄 彪^{1,2}, 詹振环^{1,2}, 张 欣¹

(1. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 针对微光与红外图像彩色融合实时性强、数据量大的特点, 提出了一种基于多核 DSP 的微光与红外双波段图像实时融合系统。选用 Altera 公司带串行收发器的 FPGA Cyclone IV 完成图像的采集、预处理和外围设备的控制, 采用 TI 公司最新的 8 核高性能 DSP TMS320C6678 完成图像融合。通过 SRIO(Serial RapidIO)接口实现两者之间的数据传输, 完成双波段图像融合和色彩传递, 将彩色图像的颜色信息传递给融合图像。该系统可以实现有效的图像融合和色彩传递, 适合双波段视频自然感彩色融合系统应用。

关键词: 彩色融合; 微光; 红外; 多核 DSP

中图分类号: TN911.73 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2014)09-3141-05

Color fusion system of low-level light and infrared images based on multi-core DSP

Deng Chan^{1,2}, Liu Wen¹, Huang Biao^{1,2}, Zhan Zhenhuan^{1,2}, Zhang Xin¹

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: For the color fusion of low-level light and infrared images have the characteristics of strong real-time performance and a large quantity of data, a low-level light and infrared dual channel real-time image fusion system based on multi-core digital signal processor (DSP) and field programmable gate array (FPGA) was put forward. Cyclone IV FPGA of Altera Co.Ltd. with serial transceivers was chose to complete the image information collection, preprocessing and all kinds of control of peripheral equipment, while the newest 8 core high performance fixed point and floating point DSP TMS320C6678 of TI Co. Ltd. was used to realize image fusion. The data transmission was achieved between field programmable gate array and multi-core digital signal processor through the high-speed Serial RapidIO (SRIO) interface, and then color transmission in YUV color space as well. When the color information of the color image in the day light was passed to the fusion image, it was closer to natural color and could reflect richer scene information as much as possible. Experiment shows that this system can realize real-time image fusion and useful color transmission, is suitable for the color fusion system applications of the dual channel video natural sense in the dynamic scenarios.

Key words: color fusion; low-level light; infrared; multi-core DSP

0 引言

随着现代成像技术的发展,一方面,最终用户对决策过程不断提高快速反应要求;另一方面,成像器件的不断更新和发展,使得图像的分辨率不断提高,图像质量不断改善,但后续处理系统的数据量大大增加了。第三,在理论研究方面,新的研究成果和算法不断涌现,在改善处理效果的同时,算法结构和过程日趋复杂,时间消耗不断受到挑战。因此,在保证图像处理效果的前提下,不断提高图像处理系统的实时性显得尤为重要^[1]。

图像融合作为数据融合中一个十分重要的领域,可以定义为将两个或两个以上图像传感器对某个具体场景获得的图像或图像序列加以综合,产生一个新的关于此场景的图像,从而增加图像信息的准确性和可理解性,使其更加适合人眼视觉或机器视觉处理。

文中从微光/红外热成像实时彩色成像系统的要求出发,针对某一特定的图像融合处理算法采用多核 DSP/FPGA 架构进行硬件系统的设计,从而实现微光与红外图像的实时彩色融合。

1 系统描述

文中基于 YUV 空间方式进行色彩传递和图像融合^[1-2],系统利用多核 DSP 实现 YUV 空间线性组合结构的彩色图像融合,通过外加参考图像实现色彩传递,从而改善融合图像的色彩表现力,其结构框图如图 1 所示。

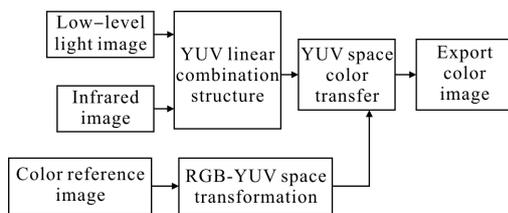


图1 色彩传递结构

Fig.1 Color transmission structure

线性组合彩色融合处理算法^[3]的基本原理是通过某些基本的空间彩色映射准则来模拟生物视觉模型从而实现图像融合,采用一定的线性组合方式将可见光与红外图像送入如 RGB 空间通道,从而得到

彩色融合图像。线性组合结构的优点包括:计算量小,算法简单,能达到更加自然的色彩效果,易于实时处理,缺点是图像细节损失较大。

文中采用与 RGB 空间线性组合结构相似的 YUV 空间线性组合彩色融合方法,其融合结构如公式(1)所示。将微光和红外两路图像进行线性组合后映射到 YUV 颜色空间。

$$\begin{cases} Y=V_{is} \\ U=m_1 V_{is}-m_2 IR \\ V=m_3 IR-m_4 V_{is} \end{cases} \quad (1)$$

式中: V_{is} 代表微光图像; IR 代表红外图像; m_1, m_2, m_3 和 m_4 为正数。对应于 YUV 颜色空间中的亮度信号 Y 和色差信号 $U(B-Y)$ 、 $V(R-Y)$,微光图像的亮度分量为 V_{is} , $m_1 V_{is}-m_2 IR$ 为蓝色色差分量, $m_3 IR-m_4 V_{is}$ 为红色色差分量,从而将微光图像映射于亮度通道,红外图像中的白热分量/黑热分量分别映射于红色/蓝色色差通道,这样生成的彩色图像更加符合人眼的视觉特性。

为了获得自然感更强的彩色图像,需要进一步对线性组合融合的图像采用色彩传递进行色彩增强^[4]。文中采用的是将图像从 RGB 空间变换到 YUV 颜色空间,实现结构如公式(2)所示:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0 & 0.587 & 0 & 0.114 & 0 \\ -0.168 & 7 & -0.331 & 3 & 0.500 & 0 \\ 0.500 & 0 & -0.418 & 7 & -0.081 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

色彩传递将参考图像的颜色特征传递给源图像,使处理后的彩色融合图像与参考图像具有相似的色彩信息。由于加入了原始图像以外的信息,因此融合图像的质量很大程度上取决于传递方式和参考图像的选取。

色彩传递具体的实现过程是将适宜的参考图像在 YUV 空间中各分量的方差和均值通过某种线性方式传递给源图像对应于 YUV 空间的各分量,具体变换结构如公式(3)所示:

$$\begin{aligned} Y' &= \frac{\sigma_{T,Y}}{\sigma_{S,Y}}(Y-\bar{Y}_S)+\bar{Y}_T \\ U' &= \frac{\sigma_{T,U}}{\sigma_{S,U}}(U-\bar{U}_S)+\bar{U}_T \\ V' &= \frac{\sigma_{T,V}}{\sigma_{S,V}}(V-\bar{V}_S)+\bar{V}_T \end{aligned} \quad (3)$$

式中: σ 为图像在颜色空间中对应的标准方差; \bar{Y} 、 \bar{U} 、 \bar{V} 为其相应的均值;下标 S 和 T 分别代表源图像和参考图像。图像变换后在YUV颜色空间和参考图像的方差和均值一致。将其变换到RGB空间后,就可以生成色彩细节和参考图像类似的彩色图像。在微光条件下,选择合适的参考图像,就可将源图像处理成近似于白天的逼真场景。

2 图像彩色融合系统与实现

图像融合系统包括图像采集、图像传输、图像融合、视频输出等模块。对采集的图像直接进行融合处理,系统硬件框图如图2所示。

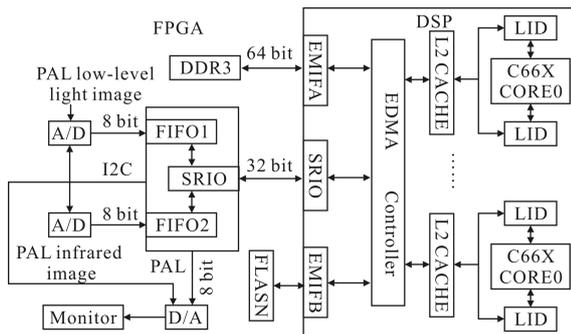


图2 融合系统硬件框图

Fig.2 Hardware structure of fusion system

针对图像彩色融合系统的实时性要求,以核心运算器件的高性能和数据流的高效传输为保证。现今主流的图像融合系统架构采用的是FPGA、DSP或者FPGA+DSP的架构^[5]。系统中选用DSP和FPGA协同处理,FPGA用于图像的采集、预处理和图像输出,DSP则用于融合算法实现。DSP采用TI公司的TMS320C6678^[6](以下简称C6678)。

C6678多核DSP芯片拥有8个C66x内核,工作频率可达10 GHz,改进的存储器架构支持最大容量为8 GB的64位DDR3,内嵌了SRIO模块,拥有4个全双工的端口,支持SRIO 1x/2x/4x串行协议。每个端口支持1.25 Gb/s、2.5 Gb/s、3.125 Gb/s的波特率。

微光和红外图像通过FPGA采集,DSP将FPGA采集到的数据分配到CORE2到CORE7这六个内核并行处理,CORE0负责数据流的配置管理,CORE1负责处理结果综合和输出。数据流配工作基于微光

和红外图像的格式,为720×576的PAL模拟视频,这里按列分割,每个内核平均处理一帧图像中的96列数据。并行流水方式大幅提高了融合效率,保证了融合后图像的实时性。

2.1 图像采集

图像采集由解码器ADV7183B和EP4CGX150完成。EP4CGX150是Altera公司最新的低功耗FPGA^[7],集成8个GX串行收发器模块,每路最高速率3.125 Gb/s,支持多种串行协议,FPGA负责数字视频的缓存和I2C等逻辑控制。ADV7183B采集精度10位,采样频率为54 MHz,完成将PAL模拟视频转化为数字格式。

输入图像为二路720×576的PAL制式模拟视频,一路微光图像,一路红外图像,经ADV7183B解码生成8位BT.656的数字视频数据。FPGA通过ADV7183B输出数字信号的时序,将模数变换后的图像存储在FPGA内部的两个异步512 k×32 bit FIFO中。

2.2 图像传输

FPGA和DSP之间的数据传输通过SRIO接口完成。当FPGA中FIFO的视频数据量达到一定值后,将FIFO中的数据通过SRIO以数据包的形式传递给DSP。

Serial RapidIO简称SRIO。RapidIO是新一代高速互连技术,已于2004年被国际标准化组织(ISO)和国际电工协会(IEC)批准为ISO/IEC DIS 18372标准。这一互连技术主要作为系统内部互连,满足了嵌入式基础实施在应用方面的广泛需要。可行的应用包括多处理器、存储器、网络设备中的存储器映射I/O器件、存储子系统和通用计算平台。支持芯片到芯片和板到板的通信,可以实现从1 Gb/s到60 Gb/s的性能水平^[8]。

图3为图像融合系统的SRIO接口,选用EP4CGX150中的4个串行收发器模块和C6678的4路串行收发模块互连实现,每个模块含有2个差分对,分别用作接收和发送数据。

微光和红外图像数据首先被采集到EP4CGX150内实现的FIFO中,通过FIFO中的数据量控制SRIO接口是否发起传输,从而实现了FPGA到DSP的数据通信,SRIO0发送微光图像数据流,SRIO1发送红

外图像数据流。二路数据流通过 EDMA 方式进入 DSP 内核进行融合处理,由 CORE0 负责数据流的分配,CORE2 到 CORE7 这六个内核并行处理数据流,CORE1 通过 SRIO2 接口输出融合后的数据流。

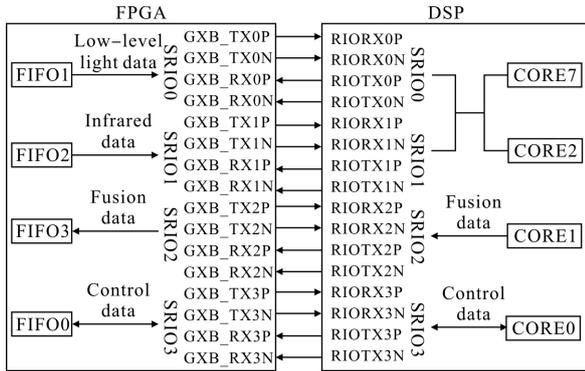


图 3 SRIO 接口

Fig.3 SRIO interface

2.3 图像缓存和输出

融合系统使用了 4 片 16 位 512 MB 的 DDR3 构成了 64 位的 4 GB 大小的存储空间,映射到 C6678 的 CE0 和 CE1 空间,DDR3 用于存储融合后的图像,也作为处理过程中大型中间数据的缓存。DSP 通过 SRIO 接口读取 FPGA 中的数据并缓存到外部数据存储器 DDR3 中,之后 DSP 读取 DDR3 中的数据进行图像融合处理,并将处理结果存入 DDR3 中。

图像输出由 DSP 读取 DDR3 中处理完的数据送入 FPGA 中缓存,通过编码器 ADV7179 进行编码,编码器 ADV7179 为 10 位数字量输入,参考时钟为 27 MHz,编码输出一路 720×576 的 PAL 模拟视频,可通过制式显示器显示输出结果。

2.4 软件设计

图像融合处理主要集中在 DSP 中,不同于传统的 DSP 采用 DSP/BIOS 实时操作系统进行软件开发,C6678 的软件开发利用 BIOS MCSDK(Multicore Software Development Kit)进行针对多核架构的软硬件处理。添加采集、处理和输出 3 个任务。内核之间的任务通讯通过 BIOS MCSDK 的 MSMC(Multicore Shared Memory Controller)模块实现,如图 4 所示。

采集任务用于通过 SRIO 将采集到新一帧的数据经过 EDMA 通到搬运到 DDR3 中的处理缓冲区中用于后续处理,而输出任务用于将处理后

的数据通过 EDMA 搬运到输出缓冲区,最终数据将通过 SRIO 被送到视频端口的输出 FIFO 缓冲区,然后发送到编码器,经过视频编码后输出模拟视频。

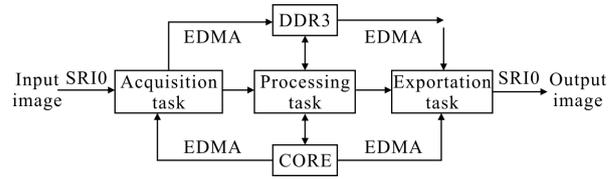


图 4 BIOS MCSDK 软件流程框图

Fig.4 Software flow diagram of BIOS MCSDK

处理任务负责图像的处理,例如色彩传递处理。软件使用 C 语言编写,融合算法通过 BIOS MCSDK 进行结构优化,使用了软件流水,并充分利用硬件资源,以求最高的运行效率,使处理算法能够实时实现。

3 实验结果与讨论

实际融合实验时采用非共轴光学系统,可见光 CCD 采用 WAT-902H,热像仪采用长波非制冷焦平面成像组件,调节光学系统参数使得两路视频图像基本一致。经过实际场景融合实验,表明了该系统彩色融合处理的有效性。图 5 和图 6 给出了对于某一场景的图像融合效果。



图 5 大楼微光彩色融合图

Fig.5 Low-level light color fusion image of building

图 5 中(a)为大楼微光图像,(b)为其红外图像,(c)为参考的目标图像,(d)为彩色融合图像,经该平台处理的融合图像在色彩自然感和图像细节方面得到了比较满意的结果。



图6 马路微光彩色融合图

Fig.6 Low-level light color fusion image of road

图6中(a)、(b)、(c)、(d)分别为人和树丛的微光、红外、参考和彩色融合图像,从实验效果看,接近自然色彩,同时能够反映两个波段的图像的特点,给人更深刻的印象,更便于发现目标。

4 结论

文中在 YUV 空间色彩传递处理算法的基础上,利用多核 DSP /FPGA 实现一种双波段图像融合系统,可实现微光和红外热成像的实时彩色融合,得到更为符合人眼视觉特点的彩色图像,有助于丰富图像信息,提高目标探测能力,改善目标识别概率。该彩色融合系统取得了较好的效果,为今后的工程应用以及系统的完善奠定了基础。

鉴于彩色融合算法的复杂性,在算法改进和软硬件优化方面还需进一步研究。

参考文献:

- [1] Wang Lingxue, Shi Shiming, Jin Weiqi, et al. Color transfer and its real-time system based on a YUV space for dual-channel video images [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2007, 27(3): 189-191. (in Chinese)
- 王岭雪, 史世明, 金伟其, 等. 基于 YUV 空间的双通道视频图像色彩传递及实时系统[J]. *北京理工大学学报*, 2007, 27(3): 189-191.
- [2] Luo Yuan, Jin Weiqi, Liu Xiaodong. Color look-up space based natural color fusion algorithm and DSP real-time implementation [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(8): 2241-2246. (in Chinese)
- 骆媛, 金伟其, 刘效东. 基于颜色查找空间的自然感彩色融合算法及 DSP 实时实现 [J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(8): 2241-2246.
- [3] Bai Lianfa, Zhang Yi, Gu Guohua, et al. Analysis and fusion methods on low light level image and ultraviolet image [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(1): 113-117. (in Chinese)
- 柏连发, 张毅, 顾国华, 等. 微光图像和紫外图像分析与融合方法研究[J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(1): 113-117.
- [4] Shi Shiming, Wang Lingxue, Wang Xia, et al. Realtime fusion system for color night vision [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(S): 360-365. (in Chinese)
- 史世明, 王岭雪, 王霞, 等. 一种彩色夜视实时图像融合系[J]. *红外与激光工程*, 2006, 35(S): 360-365.
- [5] Liu Xu, Wu Yunfeng. Double DSP parallel image processing system based on SRIO [J]. *China Science and Technology Information*, 2009(11): 120-121. (in Chinese)
- 刘旭, 吴云峰. 基于 SRIO 的双 DSP 并行图像处理系统[J]. *中国信息科技*, 2009(11): 120-121.
- [6] Texas Instruments. TMS320C6678 datasheet [EB/OL]. [2011-04-15] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c6678.pdf>.
- [7] Altera. Cyclone IV Datasheet [EB/OL]. [2010-06-13] <http://www.altera.com.cn/literature/hb/cyclone-iv/cyiv-53001.pdf>.
- [8] Texas Instruments. TMS320C6678 Serial RapidIO (SRIO) User's Guide [EB/OL]. [2011-05-14] <http://www.ti.com/lit/ug/sprugw1b/sprugw1b.pdf>.