

文章编号:1007-2780(2013)06-0963-05

基于 DSP 的实时图像拼接技术

张云峰

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: zyfcicomp@126.com)

摘 要: 在靶场测量中, 为了得到大视场高分辨率的图像, 设计了一套基于 DSP 的经纬仪实时图像拼接系统, 该系统实时采集两个视场传感器的数字图像, 在 DSP 内部实现图像的自动拼接, 将拼接后的图像以标准数字格式输出, 供后续系统使用。文章给出了图像拼接系统的硬件组成原理, 该系统的两个图像传感器的帧频为 100 Hz, 传统图像拼接算法无法满足实时性的要求, 为此提出了一种基于相位相关法确定相似区域的图像拼接算法, 并进行了实时图像拼接实验, 结果表明, 优化方法的图像拼接速度平均为 7 ms, 满足实时性的要求, 实现了图像的无缝拼接, 同时系统稳定可靠, 满足靶场测量的实际要求。

关 键 词: 图像拼接; DSP; 相位相关法; harris 算子

中图分类号: O753.2 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20122806.0963

Real-Time Image Mosaic Technology Based on DSP

ZHANG Yun-feng

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail: zyfcicomp126.com)

Abstract: In the range, in order to get the image of wide field of view and high resolution, the real-time image-mosaic system based on DSP was designed. The system obtain image of two field of view sensor, and then mosaic within the DSP. At last, the standard numeric format was exported for other systems. The hardware principle of image mosaic-system was given. As the frame rate of the two sensors was 100 Hz, the traditional image mosaic algorithm cannot satisfy the real-time requirement. So the phase correlation algorithm was used to determine the similar area to reduce time for mosaic image. The experiment was taken. The result showed that the time for real-time image mosaic was average 7 ms, which meets the real-time requirements. The system is stable and reliable, which meets the practical requirements of range measurement.

Key words: image mosaic; DSP; phase correlation algorithm; Harris

1 引 言

随着我国武器研制水平的不断提高, 高速度、高机动能力的武器装备越来越多, 在靶场对其进行实验测量时, 为了更好地验证武器的性能, 需要同时得到武器装备的细节和大范围运动特性信

息, 这就要求光学测量设备得到的图像视场大、分辨率高。为了满足这样的要求, 就需要光学系统的焦距长, 探测器的靶面面积同时又要很大。但是, 目前由于工艺的限制, 尤其是红外探测器, 应用到实际工程中的探测器分辨率一般为 640×512 , 像元尺寸为 $30 \mu\text{m}$, 无法满足需要。因此, 为

收稿日期: 2013-07-31; 修订日期: 2013-09-20

作者简介: 张云峰(1970—), 男, 吉林长春人, 博士, 研究员, 主要从事图像处理方面工作。

了得到大视场、高分辨率的图像,多数采用多光学系统和传感器得到不同视场的图像,然后通过图像拼接算法得到所需的图像数据。这种方法的光学和机械结构简单、可靠,图像拼接算法目前也比较成熟,因此,这种方法在靶场测量中得到广泛的应用^[1]。

目前,图像拼接的方法比较成熟的是采用基于图像特征点的拼接方法,其方法是先提取图像的特征(如角点),然后建立图像之间的特征匹配关系,从而计算出空间变换的参数,利用空间变换参数进行图像的拼接^[2-3]。要在整幅图像之间进行上述运算,算法运算量大,执行时间无法满足实时性的要求。本文根据研究图像拼接光机结构和目标成像特点,对算法进行了优化处理。系统采用两个平行的成像系统进行图像拼接,两幅图像的重叠区域主要取决于目标的距离,在两帧图像之间,目标的距离不能突变,因此可以利用上次图像配准的位置,在其附近首先利用相位相关法确定出相似区域,然后在相似区域内进行特性点提取和匹配,这样大大提高了图像拼接的速度。经过试验验证,图像拼接的平均速度达 7 ms 左右,在传感器图像帧频为 100 帧的情况下,满足了实时性的要求。

2 图像拼接系统结构

本文的经纬仪使用两个平行成像系统对不同区域的场景进行成像,其结构示意图如图 1 所示。

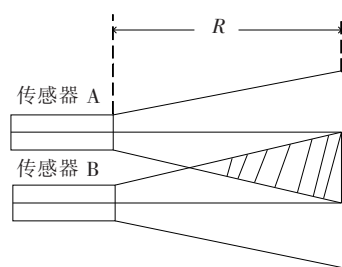


图 1 图像拼接原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of image mosaic

如图 1 所示,本系统的两个光学系统和图像传感器平行放置,每个成像通道得到不同场景区域的图像,图 1 为传感器 A 和传感器 B 在目标距离为 R 时的成像示意,图中的阴影部分即为两个传感器的重叠部分,其成像示意图如图 2 所示。

如图 2 所示,目标的重叠部分反映到数字图

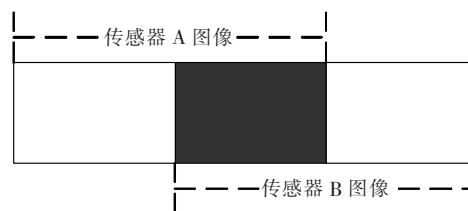


图 2 两传感器成像示意图

Fig. 2 Image of two sensors

像上为图中的阴影部分,这部分大小随着目标距离的不同,其面积也会随之变化。将传感器 A 和传感器 B 的数字图像实时的送至基于 DSP 的图像拼接系统,在 DSP 内部,通过图像拼接算法,确定上述阴影部分的位置和角度,进行图像的配准和拼接,去除两幅图像的重叠区域,得到比单个传感器视场更大的图像,然后通过图像输出接口,将拼接后的图像实时送到后续处理单元^[4]。

3 系统硬件设计

实时图像拼接系统的硬件组成原理图如图 3 所示。

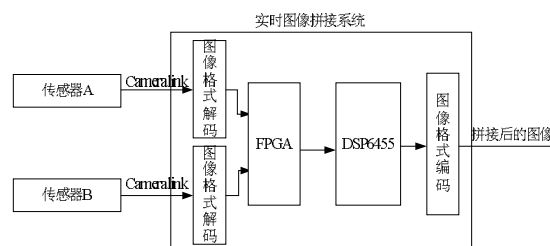


图 3 图像拼接系统硬件原理图

Fig. 3 Schematic diagram of system

如图 3 所示,实时图像拼接系统分别对传感器 A 和 B 的标准 CameraLink 图像信号进行解码,得到并行的图像数据,送到 FPGA 进行图像的预处理等工作,然后通过 DSP 启动 EDMA 将图像数据传送到 DSP 的内存中。DSP 在得到两个传感器原始图像数据后,在 DSP 内部实现图像的预处理、图像配准、图像拼接等算法,实现对两个传感器不同视场的原始数字图像的拼接,然后将拼接后的数字图像经过图像格式编码电路得到标准的 CameraLink 图像信号输出,供后续系统跟踪、显示用^[5]。

4 图像拼接算法

图像拼接算法的性能,主要取决于图像配准

的精度,配准算法既要保证配准精度,算法的运算时间又要满足实时性的要求。根据本文经纬仪的光机结构,两个传感器平行放置,两个传感器的图像只存在平移,图像重合区域面积只取决于目标的距离,而目标的距离不会发生突变,因此前后两帧图像的图像重叠区域也不会突变,因此,本文采用将上次图像配准的位置保存,本帧图像配准时,在上帧的配准位置附近,通过相位相关法确定相似区域,即图像配准区域,然后在相似区域内进行特征点的提取和配准,这样就不需要进行整幅图像的特征点提取和配准,缩短了图像拼接的时间。本文图像拼接算法的流程图如图 4 所示。

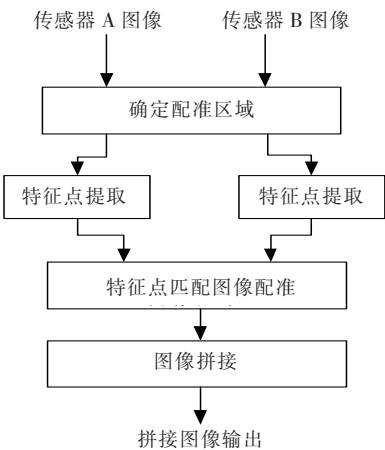


图 4 图像拼接算法流程图
Fig. 4 Flow chart of software arithmetic

4.1 图像配准区域定位算法

为了减少图像拼接的运算时间,首先在两幅图像中确定图像配准的区域,其原理如图 5 所示。

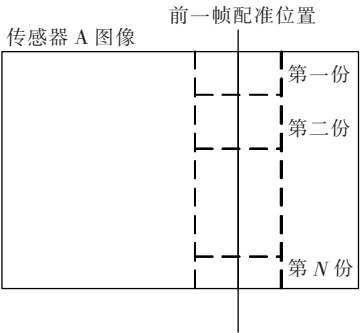


图 5 图像配准区域定位原理图
Fig. 5 Schematic diagram of orientation

如图 5 所示,本经纬仪的两个图像传感器规格型号完全相同,在确定图像配准区域时,以传感

器 A 的图像为基准,利用前一帧图像配准的位置,在其附近选择 N 份图像小区域,与传感器 B 相同位置附近的小区域内利用相位相关法确定图像的相似区域,然后在相似区域内进行图像的配准,以减少图像配准的区域,缩短了图像拼接的计算时间^[6]。下面介绍相位相关算法的原理。

假设 f_a 和 f_b 是两个小的图像区域,以 f_a 为基准, f_b 旋转了 θ ,平移了 (t_x, t_y) 。则有:

$$f_b(x,y) = f_a(x\cos\theta + y\sin\theta - t_x, -x\sin\theta + y\cos\theta - t_y) \tag{1}$$

相位相关算法按如下步骤进行运算:

(1)对两个图像区域进行 FFT

$$F_b(u,v) = \exp[-j2\pi(ut_x + vt_y)] \times F_a(u\cos\theta + v\sin\theta, -u\sin\theta + v\cos\theta) \tag{2}$$

然后对 FFT 的结果取模,有:

$$M_b(u,v) = M_a(u\cos\theta + v\sin\theta, -u\sin\theta + v\cos\theta) \tag{3}$$

其中, M_a 和 M_b 分别为 FFT 变换的模。

(2)极坐标变换

直角坐标系 (x,y) 和极坐标系 (ρ,θ) 的关系如公式(4)所示。

$$x = \rho\cos\theta, \rho = \sqrt{x^2 + y^2} \\ y = \rho\sin\theta, \theta = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \tag{4}$$

将 M_a 和 M_b 转换到极坐标系下,如公式(5)所示:

$$M_b(\rho,\theta) = M_a(\rho,\theta + \theta_0) \tag{5}$$

其中, θ_0 为 M_a 和 M_b 的相差。

(3)将图像 f_b 旋转 θ 角度,得到图像 f_c ,这样图像 f_a 和图像 f_c 就不存在旋转,只有平移变换,即图像 f_a 和图像 f_c 的平移变换可以代替图像 f_a 和图像 f_b 之间的平移变换。

$$f_a(x,y) \approx f_c(x + t_x, y + t_y) \tag{6}$$

(4)相位相关函数计算

定义两图像的互相关函数为:

$$C(f_c, f_a) = f_c(x,y) \otimes f_a(-x, -y) \tag{7}$$

由公式(7)进行归一化得到归一化的互相关函数为:

$$C(f_c, f_a) = \sigma(x - t_x, y - t_y) \tag{8}$$

如公式(8)所示,归一化互相关函数理论上只有在 (t_x, t_y) 处不为 0,这样就确定了两个图像的配准区域。但是,由于噪声等因素的影响,归一化互相关函数会出现多个非零点,因此本文选取归

一化互相关函数值最大处作为图像配准区域,同时本文采用只在一维方向上进行搜索,计算量不大,运算速度快。

4.2 图像配准算法

确定图像配准区域后,就需要在相似区域内进行图像配准,本文采用基于特征点的图像配准算法,使用各向同性的 harris 算子提取图像的特征点,它能很好反映图像局部特征。设图像的灰度值为 $f(x, y)$,选取高斯模板函数 $w(x, y)$,模板在图像中移动 (u, v) 时,坐标点 (x, y) 的灰度值变化 $E(u, v)$ 为:

$$E(u, v) = [u, v]M = [u, v]w(x, y) \otimes \begin{bmatrix} f_x^2 & f_x f_y \\ f_x f_y & f_y^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中, f_x 和 f_y 为沿 x 和 y 的一阶导数,如果矩阵 M 的两个特征值具有局部最大值,则表示该点为角点。本文中为了提高算法运算速度,选用评估函数代替特征值的计算,评估函数如公式(10)所示。

$$R = M_d - kM_l^2 \quad (10)$$

其中, M_d 和 M_l 分别为矩阵 M 的行列式值和迹; k 是一个常数,本文中设为 0.6。评估函数的阈值大于某一固定值时,此点即为角点。阈值的大小与特征点的多少相关^[7-8]。

对传感器 A 和 B 的图像中的相似区域进行上述角点提取,得到每个区域的角点特征,然后就需要对提取的这些特征点进行匹配,本文使用基于 Harr 小波系数索引的 k-NN 查找算法。通过算法只要匹配上 4 个特征点对,且满足任意 3 个点不共线的要求,就可以通过这些点确定图像拼接时的空间变换参数,进行图像的无缝拼接。

5 图像拼接试验与结果分析

应用本文算法,在外场进行实时图像拼接算法的验证。使用经纬仪对不同距离的场景进行测量,将传感器 A 和传感器 B 的图像通过图像拼接系统进行图像拼接,然后利用图像采集卡和工控

机采集拼接后的图像,图像拼接效果如图 6 所示。

如图 6 所示,(a)图为传感器 A 得到的图像,(b)图为传感器 B 得到的图像,(c)图像为经过本文图像拼接后输出的图像,可以看出图像拼接效果好。应用本文图像拼接系统,不同距离的图像平均拼接的时间为 7 ms,满足了项目实时性的要求。

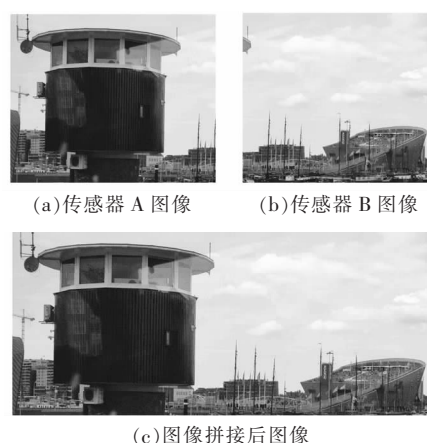


图 6 图像拼接实验图

Fig. 6 Result of image mosaic

6 结 论

设计了一套基于 DSP 的实时图像拼接系统,该系统对经纬仪的两个平行传感器输出的不同视场的图像进行拼接,得到大视场、高分辨率的实时图像。为了提高图像拼接的速度,利用本文经纬仪的光机结构和传感器特点,提出了利用前一帧图像的匹配点,首先在其附近区域利用相位相关算法确定相似区域,然后在相似区域内利用 Harris 算子提取图像的特征点,利用基于 Harr 小波系数索引的 k-NN 查找算法进行特征点匹配,得到图像拼接的空间变换矩阵,进行图像拼接。最后,在外场进行了实时图像拼接试验,试验结果表明,本系统图像拼接的平均速度为 7 ms,满足实时性的要求,同时本系统稳定、可靠,在靶场中有很广泛的应用前景。

参 考 文 献:

- [1] 于晓波,盛磊. 靶场测量中多镜头大视场视频图像的拼接 [J]. 光学精密工程, 2008, 16(11): 2145-2150.
- [2] 李帅,李海峰,彭祎帆,等. 基于视场拼接的体视三维显示 [J]. 液晶与显示, 2010, 25(4): 601-604.
- [3] 杨立保,李艳红,王晶,等. 多镜头成像拼接方法在经纬仪系统中的应用 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(5):

1048-1053.

[4] 王文波,费浦生. 基于小波包得图像拼接算法[J]. 激光与红外,2006,36(3):238-240.

[5] 冯桂兰,田维坚,屈有山,等. 实时视场拼接系统的设计与实现[J]. 光电工程,2007,34(4):124-127.

[6] 张桦. 场景图像拼接关键技术研究[D]. 天津:天津大学博士学位论文,2008.

[7] 戚世贵,戚素娟. 一种基于图像特征点得图像匹配算法[J]. 理论与方法,2008,27(1):3-5.

[8] 柴海峰,高国保,郝大收,等. 大屏幕投影拼接系统的设计[J]. 液晶与显示,2007,22(3):336-341.

科技参考文献著录的规则

根据中华人民共和国国家标准“文后参考文献著录规则”(GB/T7714-2005),《液晶与显示》编辑部希望广大作者在向本刊投稿时注意参考文献的著录。

1. 文后参考文献书写格式

期刊:[序号]作者. 文献题名[文献类型标志]. 连续出版物题名:其他题名信息,年份,卷号(期号):起止页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[1]凌志华. STN-LCD 技术的发展[J]. 液晶与显示,2002,17(4):233-242.

例:[2]李晓东,张庆红,叶瑾琳. 气候学研究的若干理论问题[J]. 北京大学学报:自然科学版,1999,35(1):101-106.

例:[3]邵喜斌,王丽娟,李梅. a-Si:H TFT 亚阈值区 SPICE 模型的研究[J/OL]. 液晶与显示,2005,20(4):267-272. [2005-10-18]. http://www.wanfangdata.com.cn/src/szhqk/wf_szhqk_browser.Asp.

专著:[序号]作者. 题名[文献类型标志]. 析出文献其他责任者//专著主要责任者. 专著题名:其他题名信息. 版本项(第1版略). 出版地:出版者,出版年:析出文献的页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[4]周其凤,王新久. 液晶高分子[M]. 北京:科学出版社,1994:27-38.

例:[5]日本学术振兴会第142委员会. 液晶器件手册[M]. 黄锡珉,黄辉光,李之熔,译. 北京:航空工业出版社,1992.

例:[6]母国光. 白光光学信息处理及彩色摄影术[M]//陈星旦. 光学与光学工程,北京:科学出版社,2005:62-72.

例:[7]赵耀东. 新时代的工业工程师[M/OL]. 台北:天下文化出版社,1998[1998-09-26]. [http://www.ie.nthu.edu.tw/inf/ie.newie.htm\(Big5\)](http://www.ie.nthu.edu.tw/inf/ie.newie.htm(Big5)).

例:[8]陈兵,徐寿颐. 新型烷基环己基炔类液晶的合成与性质[C]//2002年中国平板显示会议论文集. 深圳:深圳天马微电子股份有限公司,2002:167-168.

例:[9]闫石. 液晶光控取向膜材料的研究[D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2001.

例:[10]全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. GB/T5795-1986 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,1986.

专利:[序号]专利所有者. 专利题名:专利国别,专利号[文献类型标志]. 公告日期或公开日期[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[11]吕永积,王群伟,邵佑军,等. 平板真空摄像器件:中国,ZL95241185.7[P]. 1997-08-09.

(下转 P972)