

文章编号: 1672-8785(2011)09-0019-04

灰度校正在红外序列图像拼接中的应用

王彦辉 冯 莹 曹 毓 陈运锦

(国防科技大学光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 为满足红外图像无缝拼接的需要, 提出了一种基于红外序列图像的灰度非均匀性校正算法。该算法利用灰度非均匀区域的相对稳定性, 通过对拍摄的大量红外序列图像求平均, 获得相机灰度校正的模板图像。然后利用此模板对各帧图像进行校正, 实现在同一幅度照射下各像素灰度的一致性。最后利用由 HJRG-001 型红外热像仪获得的红外视频图像序列进行拼接实验, 并使用 SURF 算法对校正后的序列图像进行拼接。实验结果表明, 该方法简单快速, 有效地校正了由成像系统造成的图像灰度非均匀性, 并且在保持图像清晰度的前提下, 明显消除了拼接缝, 提高了拼接图像的质量。

关键词: 红外序列图像拼接; 灰度非均匀性校正; 校正模板; 无缝拼接

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.09.005

Application of Grayscale Nonuniformity Correction in Infrared Image Sequence Mosaic

WANG Yan-hui, FENG Ying, CAO Yu, CHEN Yun-jin

(College of Optoelectric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: To meet the needs of seamless infrared image mosaic, a grayscale nonuniformity correction algorithm based on infrared image sequences is proposed. In this method, the relative stability of the grayscale nonuniformity area is used and the grayscale correction template is obtained by calculating the average of a lot of infrared image sequences. Then, the grayscale correction template is used to correct each frame of the image sequences and the grayscale uniformity of the pixels under the same illumination is achieved. Finally, the mosaic test is carried out on the infrared video image sequences captured by a HJRG-001 infrared thermal imager and the SURF algorithm is used to mosaic the corrected image sequences. The experimental result shows that this method is simple and fast. It can effectively correct the image nonuniformity caused by the imaging system and eliminate the mosaic seams while keeping good image definition.

Key words: infrared image sequence mosaic; grayscale nonuniformity correction; correction template; seamless mosaic

0 引言

红外图像拼接是指对一系列部分重叠的红外图像进行拼接而得到超宽视角图像的技术。在实际应用中, 由于受成像系统^[1]、环境光照不均^[2]、CCD 光响应的非均匀性^[3-5]以及相机

镜头磨损等因素的影响, 相机获取的图像无法正确反映目标特征, 即在同一幅度照射下, 各像素的灰度无法达到一致性(即灰度非均匀性)。非均匀灰度在图像中相当于背景噪声, 它和信号混合在一起, 会使图像的对比度和灰度分布不均。这在图像拼接中表现为明显的亮暗不均

收稿日期: 2011-07-26

作者简介: 王彦辉(1987-), 男, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理。E-mail: wangyanhuimtn@163.com

和拼接缝的存在,不利于后期的判读和识别。目前,拼接缝一般是采用图像融合算法消除的,但非融合区域中的亮暗不均现象无法通过该方法去除,而且红外图像的低分辨率、低对比度、低清晰度和低信噪比等^[6]特点也会使配准精度变低,从而使图像质量进一步恶化。另一种方法则是在图像拼接之前对原图像进行灰度非均匀性校正,以还原目标的真实灰度值。高建贞等人^[1]直接从原图像中取出属于背景上的点,再通过插值得到背景图像,然后校正原图像。但当图像背景复杂时,背景集的选取准确度会降低,校正结果会受到影响。杨杰等人^[2]利用点光源系统的近距离成像模型对光照不均匀图像进行校正。但该方法要求图像背景和目标具有单一性,而且未考虑成像系统的影响,不适合有复杂目标的序列图像的灰度校正。Sergio 等人^[4]采用基于场景的 CCD 非均匀性校正技术,其效果较好但复杂度高,不易实现。James 等人^[7]提出一种局部线性增强的方法,即通过图像分块求出各点的校正系数。但该方法受噪声的影响大,且计算量大,不便于实时处理。本文采用一种基于红外序列图像校正模板的校正方法,在图像拼接前对原图像进行灰度非均匀性校正。在不降低图像清晰度的前提下,该方法可达到消除拼接缝、增强对比度和提升图像拼接质量的目的。

1 灰度非均匀性分析

1.1 非均匀性产生的原因

由于红外图像呈现的是目标的温度和发射率信息,不大会受环境光照不均的影响。红外图像的非均匀性主要来源于成像系统(光学系统因素和 CCD 光响应的非均匀性)。

(1) 当物面上的照度均匀时,根据几何光学可知,轴外像点 E_o 与轴上像点 E 之间存在以下关系:

$$E_o = E \cos^4 \theta \quad (1)$$

式中, θ 为轴外像点与光轴的夹角。轴外像点的光照度会随着视场角余弦值的四次方的减小

而降低。该现象在摄影技术领域中被俗称为“暗角”,这是所有相机都无法避免的。

(2) 由于 CCD 中存在暗电流、量子效应、材质结构等局部差异性和各种噪声^[3],各像素对于相同辐照度所产生的灰度值并不相同,甚至会有较大差异,并且很可能随着应用时间和环境的变化而变化。

此外,装配误差和镜头磨损等因素在一定程度上也会影响图像灰度的非均匀性。

红外图像的非均匀性主要来源于成像系统本身,而与环境变化关系不大。因此,在一定的时间内,序列图像非均匀区域的坐标具有相对稳定性,这也是本文算法的理论基础。

1.2 非均匀性对图像拼接的影响

由于红外图像的整体灰度较集中,对比度低,使用 Matlab 中的 `imadjust` 图像处理工具对实验所用 HJRG-001 型红外热像仪拍摄的视频序列图像的第 1 ~ 100 帧进行增强处理。结果表明,序列图像均表现为左上角和右上角局部偏亮,中心位置偏暗,呈现出明显的灰度非均匀性。图 1 给出了第 26、30 帧图像的处理结果。然后使用基于 SURF 特征的拼接方法对序列图像中的第 22 ~ 30 帧图像进行拼接(拼接结果见图 2)。

从图 2 中可以看出,场景中一些明显的结构特征,如房屋、道路等,均未出现明显错位,拼接精度较好。但是相邻两帧图像的拼接处出现了明显的拼接缝,其直接原因就是灰度非均匀性导致相邻帧重叠部分的灰度值相差过大。

为了提高拼接图像的质量,保证视觉一致性^[8]和人工读图的准确性,需要对图像灰度非均匀性进行校正,以消除拼接缝的存在。

2 本文算法

现有算法^[1-5]只是对造成图像灰度非均匀性的某一个因素进行校正研究,而现实情况中的影响因素是多方面的,而且更加复杂。由成像系统内的多种因素造成的非均匀性还没有得到很好的解决。

2.1 算法思想

对红外序列图像进行灰度非均匀性校正的

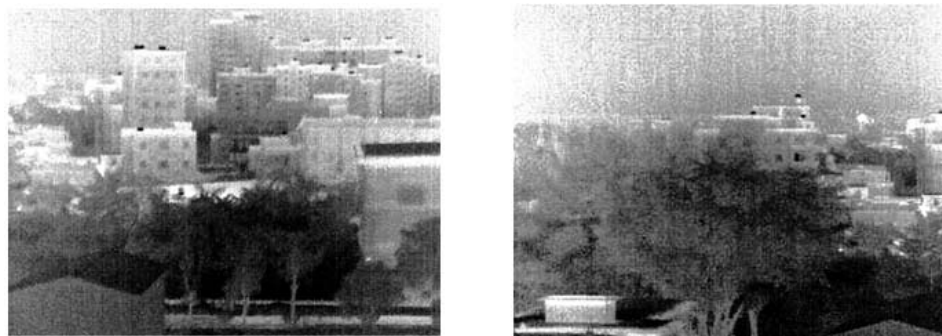


图 1 用 imadjust 工具处理后的第 26 和第 30 帧图像



图 2 红外视频序列图像的拼接结果及其直方图

重点和难点是拍摄景物是不断变化的。另外, 目标特征的复杂性也增加了校正难度。

红外图像灰度非均匀性主要由成像系统本身引入, 而且在一定的时间内, 序列图像的非均匀区域坐标具有相对稳定性, 即每帧图像固定区域的像素灰度值 $f(i, j)$ 总是与理想值 $f_0(i, j)$ 不同。只要能够找到一个合适的校正模板, 将成像系统引入的灰度不均匀影响滤除, 我们就能得到反映真实目标的灰度值。因此, 本文提出一种基于校正模板的序列图像灰度非均匀性校正方法。

本文将增强处理后的图像作为待校正图像 $g(i, j)$, 并将在一定的时间内拍摄的大量红外序列图像叠加, 然后对其求平均值, 得到校正模板:

$$s(i, j) = \frac{1}{M} \sum g(i, j) \quad (2)$$

式中, M 为序列图像的数目。由于是大量序列图像的叠加, $s(i, j)$ 中不存在具体的目标及其细节, 而是显示为灰度渐变的亮暗图像。其灰度不均匀区域所对应的像素处表现为明显的亮暗斑块, 因此 $s(i, j)$ 也可称为背景图像。

对于目标图像 Δg , 可近似有 $\Delta g = g(i, j) - s(i, j)$, 即消除背景的图像。然而本文需要的是经灰度校正后的图像 f' (包括目标和背景)。因此, 我们采用一种基于灰度补偿的校正方法。通过对待校正图像减去一定比例的校正模板来消除失光, 然后对图像进行灰度补偿, 以增加校正后图像的亮度。

$$f'(i, j) = g(i, j) - \eta s(i, j) + A \quad (3)$$

式中, $g(i, j)$ 为待校正图像, η 为补偿系数, A 为灰度补偿值。

2.2 算法的实现步骤

(1) 利用 imadjust 工具对红外视频序列图像进行增强处理, 得到待校正图像 $g(i, j)$ 。

(2) 将所有待校正图像叠加, 求取平均值, 得到校正模板 $s(i, j) = \frac{1}{M} \sum g(i, j)$ 。

(3) 利用式 (3) 对 $g(i, j)$ 进行灰度校正, 得到校正后的图像 $f'(i, j)$ 。

(4) 对校正后的红外序列图像进行拼接, 得到拼接图像。

其中, 为了获得校正模板, 需要大量的序列图像。理论上, M 越大, $s(i, j)$ 越近似背景图

像。但实际中, M 不可能无限大, 要求 $M > 20$ 。 η 和 A 需要根据拍摄场景和校正图像的最终结果作具体选择。大量实验结果表明, 当 η 为 0.5 ~ 0.8, A 为 50 ~ 90 时, 校正效果较好。

3 实验结果与分析

本文使用 Matlab R2008a 进行图像数据处理, 所用的实验图像来源于 HJRG-001 型红外热像仪拍摄的视频片段 (图像分辨率为 384×288)。选取其中的第 22 ~ 30 帧图像进行拼接实验。

根据本文算法对经增强处理的序列图像中的第 1 ~ 100 帧图像进行校正。其中, $\eta = 0.6$, $A = 70$ 。图 3 所示为校正模板和第 26、30 帧图像的校正结果。

从图 3 中可以看出, 校正模板表现出明显的灰度非均匀性。与图 1 进行对比后可知, 校正后的图像 Δg 左上角和右上角的灰度不均匀区域得到了很好校正。其灰度分布均匀, 清晰度得到保持, 建筑、树木等目标的细节变得更加明显。

红外图像具有低信噪比、低清晰度等特点。为了提高配准精度, 同时兼顾实时性, 本文选取基于积分图像的 SURF 算子来提取特征点。该

算法具有尺度旋转不变性, 并且对光照变化和噪声不敏感。同时使用 RANSAC 算法消除误匹配, 进一步提升运算速度和配准精度。然后采用最小二乘法对变换参数进行拟合估计, 得到相邻帧的变换矩阵。最后使用待配准图像的灰度值直接填充相邻帧的重合部分。

为了验证本文算法的有效性, 采用 SURF 算法对校正后的红外视频序列图像中的第 22 ~ 30 帧进行拼接 (结果见图 4)。

与图 2 进行对比后可知, 本文方法得到的拼接图像过渡平滑, 建筑、房屋等主要目标没有出现明显错位, 相邻帧重合部分中目标清晰可见。拼接图像的整体清晰度和对比度较高。除去部分边角位置, 图像主要区域的拼接缝几乎不可见, 取得了很好的校正效果。从直方图中可以看出, 本文方法得到的拼接图像直方图呈单峰状, 近似正态分布, 并且覆盖了整个灰度级, 具有更好的视觉效果。

在运行时间方面, 用 Matlab 软件平台测得的本文算法的时间开销为 0.32060 s, 用 SURF 算法对第 22 ~ 30 帧校正后图像进行拼接的时间消耗为 3.750 s (考虑到计算机工作状态及 RANSAC



图 3 校正模板及经灰度校正后得到的第 26 和第 30 帧图像



图 4 红外视频序列图像的拼接结果及其直方图

(下转第 28 页)