

使用局部色调映射匹配异源图像*

李 壮^{1,2}, 涂国勇², 李伟建², 张红良¹

(1. 国防科技大学 航天科学与工程学院, 湖南 长沙 410073; 2. 中国人民解放军 63620 部队, 甘肃 酒泉 732750)

摘要:色调映射是一种适用于亮度和对比度变化的快速图像匹配方法。由于异源图像间存在复杂的灰度变换关系,直接采用色调映射方法进行匹配的成功率通常难以满足应用需求。为了提高匹配成功率,本文提出基于子区弱切片变换的局部色调映射异源图像匹配方法。首先将实时图划分为不重叠的子区,对每个子区进行直方图均衡化和弱切片变换,通过局部色调映射计算子区与基准图的距离系数图。融合全部距离系数图得到图像匹配结果。实验结果表明,该方法匹配成功率高于现有的色调映射方法,且计算时间仅略高于现有方法,优于异源图像匹配中常用的互信息方法。

关键词:图像处理;图像匹配;异源图像;局部色调映射

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-2486(2014)03-0032-04

Using local tone mapping to match multi-sensor images

LI Zhuang^{1,2}, TU Guoyong², LI Weijian², ZHANG Hongliang¹

(1. College of Aerospace Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. The PLA Unit 63620, Jiuquan 732750, China)

Abstract: Tone mapping is an efficient image matching algorithm adaptive to brightness and contrast variation. Due to the complex and nonconforming relation between multi-sensor images, tone mapping can hardly be directly used on multi-sensor images to achieve satisfactory results. To improve the matching rate, the local tone mapping algorithm is proposed, which includes the following steps: Firstly, the template map is divided into nonoverlapping blocks. Then, each block is processed through histogram equalization and weak slice transform. Next, the distance maps are calculated for every block by local tone mapping. Finally, the matching result is obtained by fusion all these distance maps. Experimental results show that, the matching rate of local tone mapping significantly outperforms tone mapping and mutual information, while its computation time is slightly longer than that of the tone mapping and less than that of the mutual information.

Key words: image processing; image matching; multi-sensor images; local tone mapping

由不同类型传感器获得的图像被称为异源图像。由于不同传感器间的成像特性存在差别,同一场景在异源图像上可能呈现完全不同的图像,因此传统的同源图像匹配方法一般无法直接应用于异源图像。

现有的异源图像匹配方法可以分为两类:基于特征的方法和基于区域的方法。基于特征的方法包括:利用边缘特征的匹配方法^[1]、利用轮廓特征的匹配方法^[2]、利用人造景物特征的匹配方法^[3]、综合边缘特征与点特征的匹配方法^[4]等。此类方法要求异源图像中能够检测到一致的特征,因此通常只适用于图像之间差异较小的情况。当异源图像差异较大时,如 SAR 图像与光学图像,很难提取到一致特征,从而难以采用基于特征的方法进行匹配。基于区域的方法将整幅图像的

灰度信息或者基于灰度的区域描述进行匹配。常用的基于区域的异源图像匹配方法有互信息方法^[5]、相位一致性方法^[6]、隐含相似性^[7]、子区一致性方法^[8]等。其中,互信息及其各种改进算法在异源图像匹配中使用的最为广泛。互信息是两个随机变量统计相关性的测度。当两帧具有共同物理结构的图像达到最佳匹配时,对应窗口内的互信息应为最大值。由于互信息方法不需要对不同成像模式下图像灰度级间的关系作任何假设,也不需要图像进行分割或任何预处理,因此特别适用于异源图像的匹配^[9]。但是,互信息方法需要对每个搜索窗口联合熵,其计算量很大。

最近,Hel-Or 等提出基于色调映射的图像匹配方法^[10]。该方法对存在亮度、对比度变化的图像具有很好的匹配结果,而且运算速度要远远快

* 收稿日期:2013-11-21

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(973 计划)(2013CB733100)

作者简介:李壮(1982—),男,吉林通化人,博士,E-mail:lizhuang2007@hotmail.com

过互信息方法。但是该方法对差异较大的异源图像的匹配结果欠佳。本文主要研究色调映射算法在异源图像匹配中的应用问题,提出了局部色调映射算法。试验结果表明,对于差异较大的 SAR 图像与可见光图像匹配问题,局部色调映射算法的匹配成功率远高于整体色调映射算法和互信息方法,同时处理时间相对整体色调映射算法只有小幅增加,但小于互信息方法。

1 色调映射算法

色调映射算法建立在对图像的切片变换^[11]上,下面对图像切片变换进行简要介绍。给定输入向量 $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_n]^T$, 向量元素的数值区间为 $[a, b)$ 。将区间划分为 k 个栅格: $a = q_1 < q_2 < \dots < q_{k+1} = b$ 。向量的每个元素值都将落入其中一个栅格。则向量可以划分为 k 个切片,切片 $\mathbf{x}^i = [x_1^i, \dots, x_n^i]^T$ 中的每个元素定义为

$$x_j^i = \begin{cases} 1 & \text{if } x_j \in [q_i, q_i + 1) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

对于待匹配的两幅图像,将其中的大场景图像作为基准图,记为 I , 小场景图像作为实时图,记为 P , 实时图场景是基准图场景的一部分。图像匹配问题可以表示为全局寻优问题,即寻找使图像距离达到极小值的基准图窗口 w , 记为

$$w = \underset{w_i \subset I}{\operatorname{argmin}} (Dis(P, w_i)) \quad (2)$$

将实时图 P 进行切片变换,得到一组二值图 $\{P^j\}$, 其中 $j = 1, \dots, k$ 。则实时图 P 与基准图窗口 w_i 之间的色调映射距离定义为

$$Dis(P, w_i) = \frac{1}{m \operatorname{var}(w_i)} \left[\|w_i\| - \sum_{j=1}^k \frac{(P^j \cdot w_i)^2}{|P^j|} \right] \quad (3)$$

色调映射距离本质上是图像间的灰度映射一致性的描述。当实时图中一个灰度级唯一的对应了基准图中一个灰度级时,色调映射距离达到最小值 0。但是当实时图中同一灰度级的像素对应基准图中不同灰度级时,其色调映射距离将具有较大值。

2 局部色调映射算法

色调映射模型能够适应图像间的灰度非线性变换,但是异源图像间一般并不满足灰度非线性关系。通过对异源图像的分析可知,对于图像局部区域,当区域足够小时,一般可以近似满足灰度级非线性映射关系。基于上述前提,本文提出一种局部色调映射算法。其处理流程包括:(a) 将实时图分为多个不重叠的子区 $\{P_m\}$, 其中 $m = 1,$

\dots, M 。(b) 分别对每个子区进行直方图均衡化变换得到 $\{Q_m\}$, 计算 $\{Q_m\}$ 的弱切片变换 $\{Q_m^j\}$ 。(c) 根据式(4)计算局部色调映射距离分布图。(d) 根据式(5)融合全部子区局部色调映射距离分布图得到综合距离图,极小值对应了匹配结果。

$$Dis_{Local}(Q_m, w_{im}) = \frac{1}{m \operatorname{var}(w_{im})} \left[\|w_{im}\| - \sum_{j=1}^k \frac{(Q_m^j \cdot w_{im})^2}{|Q_m^j|} \right] \quad (4)$$

$$Dis(P, w_i) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M Dis_{Local}(Q_m, w_{im}) \quad (5)$$

计算多个子区色调映射将会增加计算复杂度。为了减少计算复杂度,本文算法中大幅减少切片变换中的栅格数目,为了与整体色调映射中的切片变换相区别,将这种栅格数目非常少的切片变换称为弱切片变换。在整体色调映射算法中,由于需对整幅实时图进行切片变换,考虑到实时图内容的复杂性,通常将切片变换的参数 k 设置的比较大,在文献[10]中,作者在实验中分别设置 $k = 20, 40, 80$ 。局部色调映射算法只需对子区进行色调映射。对于尺寸较小的子区,一般只包含少数几种景物,通过对子区进行直方图均衡化,子区中不同景物的灰度距离被拉大,因此可以用较少栅格的切片变换对子区进行描述。本文中,根据子区宽度 c 设置切片变换栅格数

$$k = \begin{cases} 2 & c \leq 20 \\ 4 & c > 20 \end{cases} \quad (6)$$

算法的关键参数是子区尺寸,当尺寸越小时,越能适应异源图像的灰度差异,但是相应的子区数目也就越多,处理时间越长。在实际使用时需要根据运算时间的要求,选择合适的子区尺寸。在下节中,将通过实验给出子区尺寸与匹配成功率和计算时间的关系。

3 实验结果与分析

为了对不同算法进行对比实验,本文中首先构建了测试图像库。图像库中包括 13 组异源图像,每组图像包括 1 幅基准图和对应不同位置的多幅实时图。其中,基准图为可见光图像,大小为 400×400 像素,实时图为 SAR 图像,大小为 200×200 像素。

定义匹配成功率为

$$R_{Success} = \frac{N_{Success}}{N_{Total}} \quad (7)$$

其中 $N_{Success}$ 为匹配成功的次数, N_{Total} 为总的匹配次数。

分别用互信息方法、色调映射方法、局部色调映射方法对测试图像进行匹配。互信息中使用 16 个栅格灰度直方图及 256 个栅格的 2 维联合直方图。色调映射匹配采用 Hel - Or 提供的代码^[12]。色调映射采用 32 个栅格的切片变换。局部色调映射中采用 2 或 4 栅格的弱切片变换。分别测试局部色调映射的子区边长设置为 10、20、40、66、100 时的匹配结果。在不同匹配方法中均对实时图和基准图进行相同的预处理,包括高斯滤波和直方图均衡化。各种匹配方法的匹配成功率如表 1。尽管互信息方法在异源医学图像匹配

中取得了较好的效果,但是对于差异较大的 SAR 图像和光学图像,它的匹配成功率最低,甚至远低于整体的色调映射方法。对于测试数据库中的 SAR 图像和光学图像,整体色调映射方法匹配成功率远低于子区边长较小时的局部色调映射方法。对于局部色调映射匹配,总体看来,子区边长越小,匹配成功率越高。

图 1 为采用局部色调映射匹配时,设置不同子区边长条件下得到的匹配结果。第 1 列为 4 幅实时图,第 2、3 列分别为子区边长 10、20 条件下得到的匹配窗口,第 4 列为采用整体色调映射方法得到的匹配窗口。

图 2 和图 3 分别为整体色调映射和局部色调映射(子区边长 40)对同一组异源图像的匹配结果。图 2 中,右上图为实时图,十字丝标示实时图中心位置。左图为基准图,十字丝标示实时图中心在基准图中的匹配位置,此图中匹配错误。右下图为距离值分布图,其中亮度越低,表明对应位置的基准图窗口与实时图相似度越高,图中存在许多黑色区域,表明匹配结果并不可靠。

表 1 各种匹配方法的匹配成功率

Tab. 1 Matching rate

匹配方法	匹配成功率
互信息	11.5%
色调映射	38.5%
局部色调映射(子区边长 40)	69.2%
局部色调映射(子区边长 20)	78.8%
局部色调映射(子区边长 10)	80.8%
局部色调映射(子区边长 5)	82.7%



图 1 局部色调映射方法与整体色调映射方法的匹配结果

Fig. 1 Experimental results of local tone mapping (with block width 10, 20) and tone mapping

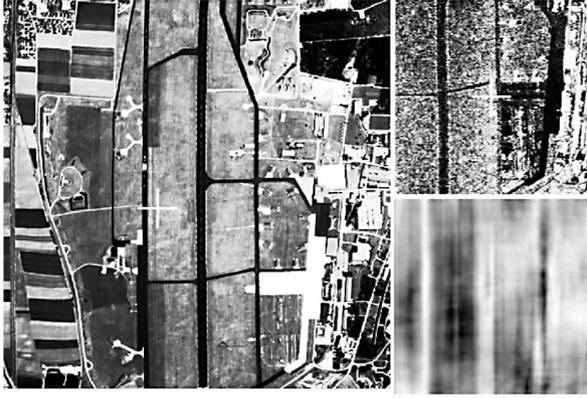


图2 色调映射匹配结果及距离分布图

Fig.2 Matching result and distance distribution map of tone mapping

图3中,基准图十字丝标示的匹配位置正确。距离值分布图中匹配位置对应的距离值明显低于其他位置的距离值,说明匹配结果比较可靠。

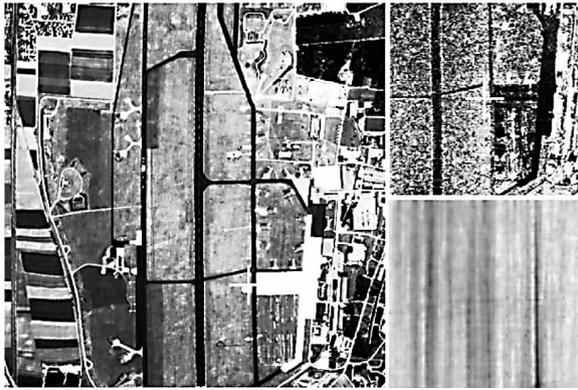


图3 局部色调映射(子区边长40)匹配结果及距离分布图

Fig.3 Matching result and distance distribution map of local tone mapping (with block width 40)

在主频3.1GHz的PC机平台上测试算法运行时间。对于 400×400 像素的基准图, 200×200 像素的实时图,采用matlab实现的色调映射算法运行时间约为0.67s,同样运行环境下的互信息算法运行时间为6.37s。局部色调映射算法的处理时间与子区尺寸有关,当子区尺寸为5、10、20、40时,处理时间分布为4.97s、1.88s、1.11s、0.90s。

4 结论

针对异源图像差异较大,难以从整体上进行色调映射匹配的问题,本文提出适用于异源图像的局部色调映射算法。主要创新点在于用多子区

的相似性代替全图相似性,减弱了异源图像中灰度非一致映射的影响,同时提出弱切片映射进一步增强方法的鲁棒性。该方法对异源图像具有较好的效果,在SAR图像和光学图像测试图像库的匹配成功率远高于互信息方法和整体色调映射算法,具有较强的工程应用价值。

参考文献 (References)

- [1] Kim Y S, Lee J H, Ra J B. Multi-sensor image registration based on intensity and edge orientation information[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(11): 3356-3365.
- [2] Pan C, Zhang Z, Yan H, et al. Multisource data registration based on NURBS description of contours[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(2): 569-591.
- [3] Wegner J D, Soergel U. Registration of SAR and optical images containing bridges over land[C]//Proceedings of the EARSeL Symposium: Remote Sensing-New Challenges of High Resolution, 2008.
- [4] 苏娟,林行刚,刘代志.一种基于结构特征边缘的多传感器图像配准方法[J].自动化学报.2009,35(3):251-257. SU Juan, LIN Xinggang, LIU Daizhi. A multi-sensor image registration algorithm based on structure feature edges[J]. Acta Automatica Sinica, 2009, 35(3): 251-257. (in Chinese)
- [5] Pluim J P W, Maintz J B A, Viergever M A. Mutual-information-based registration of medical images: a survey[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2003, 22(8): 986-1004.
- [6] Kovese P. Image features from phase congruency[J]. VIDERE: Journal of computer vision research, 1999, 1(3): 1-26.
- [7] Keller Y, Averbuch A. Multisensor image registration via implicit similarity[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(5): 794-801.
- [8] 李壮,杨夏,雷志辉.基于空间子区一致性的异源图像匹配方法[J].国防科技大学学报,2011,33(1):31-34. LI Zhuang, YANG Xia, LEI Zhihui. Multi-sensor image matching based on spatial subarea congruency[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2011, 33(1): 31-34. (in Chinese)
- [9] Parmehr E G, Zhang C, Fraser C S. Automatic registration of multi-source data using mutual information[J]. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2012, 1-7: 303-308.
- [10] Hel-Or Y, Hel-Or H, David E. Fast template matching in non-linear tone-mapped images[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2011: 1355-1362.
- [11] Hel-Or Y, Shaked D. A discriminative approach for wavelet denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(4): 443-457.
- [12] Hel-Or H. Matlab code[CP/OL]. <http://www.faculty.idc.ac.il/toky/software/software.htm>.