

基于分割相似度的异源图像匹配算法*

李 想^{1,2,3}, 雷志辉^{1,3}, 朱宪伟^{1,3}, 苑 云^{1,3}, 于起峰^{1,3}

- (1. 国防科技大学 航天科学与工程学院, 湖南 长沙 410073;
2. 北京航天飞行控制中心, 北京 100094;
3. 图像测量与视觉导航湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410073)

摘 要:异源图像匹配技术具有视觉机理研究和工程实际应用的双重价值。而图像分割是一种提取图像特征的有效手段,但由于异源图像的特性,分割算法在异源图像上难以得到一致特征。本文提出了分割相似度的概念,在允许分割存在差异的条件下衡量两种分割的相似程度,从而实现异源图像的匹配。最后通过可见光与红外图像匹配实验证明了算法的有效性。

关键词: 异源图像;图像匹配;图像分割
中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-2486(2013)06-0116-04

Multi-sensor image matching based on segmentation similarity

LI Xiang^{1,2,3}, LEI Zhihui^{1,3}, ZHU Xianwei^{1,3}, YUAN Yun^{1,3}, YU Qifeng^{1,3}

- (1. College of Aerospace Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073 China;
2. Beijing Aerospace Control Center, Beijing 100094, China;
3. Hunan Key Laboratory of Videometrics and Vision Navigation, Changsha 410073, China)

Abstract: Multi-sensor image matching is meritorious both in vision mechanism studies and vision engineering. Image segmenting is an effective method for abstracting image properties, but due to the features of images with different sources, the image segmenting method cannot guarantee agreeable image properties from different sources. With a view to this problem, a method is proposed by segmenting the multi-sensor images before the matching strategy is used. Two matching strategy, the segmentation similarity and the minimal edges, can detect the right match. Matching experiments between optic and infrared images demonstrate its effectiveness.

Key words: multi-sensor image; image matching; image segmentation

目前全球的高精度卫星图像多在可见光波段。但可见光传感器只能在白天且天气良好的情况下使用,为能全天候工作,各种飞行器平台上安装的多是红外传感器或合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)。此时,要获取实时成像目标的精确位置,需要将实时图像与基准图像进行匹配,因此异源图像匹配技术成为其中的关键。

异源图像匹配是指在不同类型传感器(如可见光、红外和 SAR)获取的图像之间进行的匹配。异源图像匹配研究既是工程实际应用的需要,也是计算机视觉科学对视觉基本机理研究的需要。现有的异源图像匹配算法主要可分为:基于区域的匹配方法和基于特征的匹配方法。

基于区域的异源图像匹配算法主要有两种思路:一是基于互信息法及其变形的匹配方法^[1-3];另一种是基于图像梯度的匹配方法。互信息法是

异源图像匹配的有效方法,但计算量太大,目前仅在医学图像配准等领域应用。基于图像梯度的匹配方法在可见光和红外图像之间能取得较好效果,但对于可见光与 SAR 图像的匹配,由于 SAR 图像存在严重的散斑噪声,以及二者梯度共性特征不足,使得匹配率较低,难以实用。2003 年, Keller 提出了一种新颖的基于隐相似性和像素移植的异源图像匹配算法^[4-5],匹配效果较好。算法首先在一幅图像中提取具有最大梯度的 20% 的点,通过配准参数 P 将点“移植”到其异源图像中。使用优化算法对配准参数进行优化,使被移植后点对应位置的梯度平方和最大,从而实现配准。

基于区域的异源图像匹配算法是在像素层次寻找异源图像存在的共同特性,带来的一个更严重问题是,当两图像存在缩放、旋转以及多种变形

* 收稿日期:2013-04-08

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目;航天飞行动力学技术重点实验室开放基金资助项目(2012afdl041)

作者简介:李想(1984—),男,湖南邵阳人,工程师,博士,E-mail:lixiang_nudt@foxmail.com;

于起峰(通信作者),男,中科院院士,教授,博士生导师,E-mail:yuqifeng@vip.sina.com

时,要完成匹配需要搜索的解空间十分巨大,难以实现实用的算法。

基于特征的匹配方法一般分为四个步骤:①特征检测;②建立特征描述;③特征匹配;④利用匹配的“特征对”求取图像配准模型参数。从利用的特征类型来看,基于特征的匹配方法又分为基于点特征、线特征和区域特征的匹配算法^[6]。基于特征的异源图像匹配方法是在更高层次的图像描述上进行匹配,因此更符合人类视觉对客观世界的认识过程,能容忍图像变形,直接求出配准参数,而不需要穷举搜索。

1 现有图像分割算法的问题

图像分割是计算机视觉里一个经典但尚未完全解决的问题。目前提出了许多图像分割算法^[7]。传统上根据分割操作策略,可以分为基于区域生成的分割算法^[8]、基于边缘检测的分割算法和区域生成与边界检测混合的混合方法。随着新的理论和数学工具的出现,又出现了基于模糊集理论^[9]、统计学方法、偏微分方程、小波分析和变换、数学形态学、人工神经网络、主动轮廓模型和水平集^[10-11]、组合优化模型、Markov 随机场模型^[12-15]、多尺度模型^[16]、meanshift 原理等等的图像分割算法。

图像分割的任务是将图像分解成互不相交的一些区域,每一个区域都满足特定区域的一致性,且是连通的,不同的区域有某种显著的差异性。但现有的图像分割算法都难以做到像人类视觉一样,能对各种图像都取得满意可靠的分割结果,往往存在过分割、欠分割、错分割等情况。

实际上,图像分割本来就不应该只有一种结果,由于观察者认知和目的的不同,人对图像的观察也会存在差异。异源图像的分割也存在类似问题。

2 基于分割的异源图像匹配算法

异源图像间同名点的灰度不再存在直接的联系,但仍有如下规律:

(1)图像中的同类点集合,在其异源图像中,很大概率仍是同类点。如可见光图像中黑色跑道上的点集合,由于材质等条件相同,在红外图像中仍表现为同一温度,在 SAR 图像中表现为同一反射率。因此采用图像分割算法,这些点很大概率上会处于同一区域。

(2)存在一定区域合并、过分割现象。如在可见光图像中明显不同灰度的材质 A 和材质 B,

很可能由于温度相近在红外图像中被合并到同一区域;反之,它们在可见光图像中被过分分割了。

因此,采用分割算法提取异源图像区域特征并匹配面临的重要问题是异源图像的分割结果往往存在过分割、欠分割甚至错分割等差异。以下给出基于分割的异源图像匹配算法的步骤和评价指标。

2.1 算法步骤

算法基本步骤如下:

- 1)利用图像的色彩、灰度、边缘、纹理等信息对异源图像分别进行分割,提取区域特征;
- 2)进行搜索匹配,在每一匹配位置将实时图与基准图的分割结果进行融合,得到综合分割结果;
- 3)利用分割相似度描述或最小新增边缘准则找出正确匹配位置。

设实时图像分割为 m 个区域,用符号 $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 表示,其异源基准图像分割为 n 个区域,用符号 $\{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ 表示。分割结果融合方法如下:

在每一个匹配位置,即假设的图像点对应关系成立时,图像点既位于实时图中,又位于其异源基准图像中,则融合后区域点的标识记为: $(A_1B_1, A_1B_2, \dots, A_2B_1, A_2B_2, \dots)$ 。标识 A_iB_j 表示该点在实时图中位于区域 i ,在基准图中位于区域 j 。

2.2 评价指标

融合的分割结果具有重要意义,它表示同一景象在两种图像源共同描述下的一个分割。而评价指标是用来将正确匹配位置上的分割与错误匹配位置上的分割区分出来。

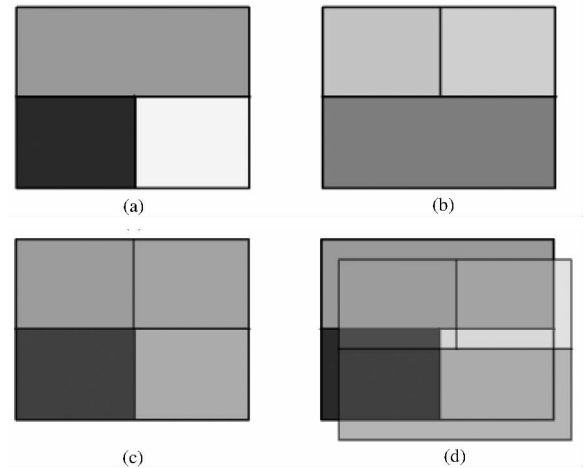


图 1 算法原理示意图

Fig. 1 Illustration of the matching method

图 1 描述了匹配的过程。其中图(a)为实时图,被分割为 $\{A_1, A_2, A_3\}$ 三个区域;图(b)为异源

基准图,被分割为 $\{B_1, B_2, B_3\}$ 三个区域;分割结果间存在区域合并、过分割现象;图(c)是正确匹配位置上的分割融合结果;图(d)是某一错误匹配位置上的分割融合结果。比较图(c)、(d)可以看出,在正确的匹配位置,融合的结果是对同一景象的最小分割,即最简单的描述假设。为了将正确匹配和错误匹配区分开来,采用了两种分割相似度指标:最大区域重合度和最小新增边缘准则。

2.2.1 最大区域重合度

设某次比较的实时图被分为 n 个区域,基准图被分割为 m 个区域,根据像素所属的融合区域统计二维直方图,得到图2中的所有 $C_{i,j}$ 。通过对此二维直方图分析可以估计基准图分割和实时图分割的相似程度。最大区域重合度 S 定义如下。

$$S = \sum_{i=1}^m \max_{1 \leq j \leq n} (C_{ij}) \tag{1}$$

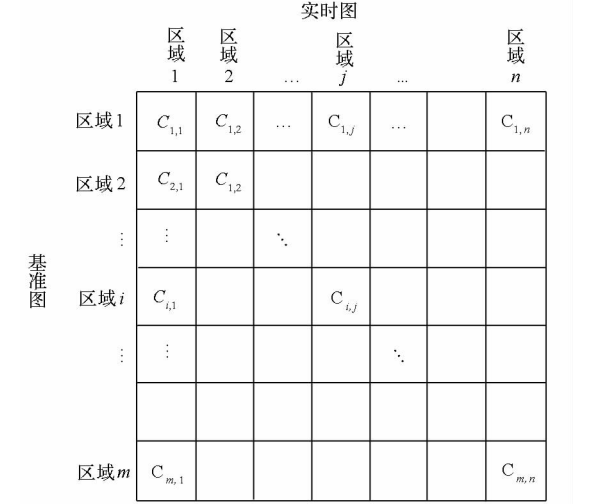


图 2 区域分布二维直方图

Fig. 2 Regional 2D Histogram of pixels

由于匹配时,实时图窗口的图像是不变的,是在基准图不同位置取窗口图像, S 的物理意义是统计每一个基准图区域被实时图各个区域分割所保留的最大主区域的像素个数之和。在正确的匹配位置, S 应取最大值。当实时图区域与基准图区域一一对应时,分割相似度 S 达到理论上最大值,为窗口像素总数。

2.2.2 最小新增边缘

图3上面两图分别是实时图和基准图分割得到的区域边缘。左下是正确匹配位置的融合边缘图,右下是错误位置的融合结果。可见,在正确的匹配位置,区域边缘的重合度也应最高。

设原基准图边缘长度为 L_r ,融合实时图的分割结果后的边缘总长度为 L_f ,则在正确匹配位置, $L_f - L_r$ 取最小值。考虑到边缘的理论宽度应是

零,为便于优化算法搜索,在实际实现算法中,离边缘越近的点被赋予更高的权值,边缘上的点权值最高。寻找 $\min(L_f - L_r)$ 就变成了求新增权值之和的最小值。

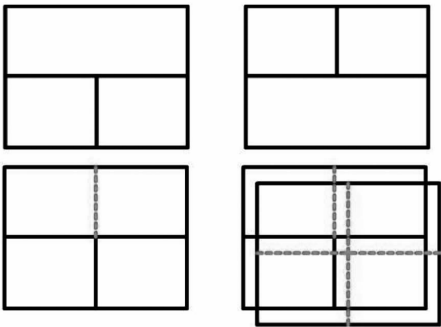


图 3 各匹配位置的区域边缘

Fig. 3 Edges of Regions in Different Position

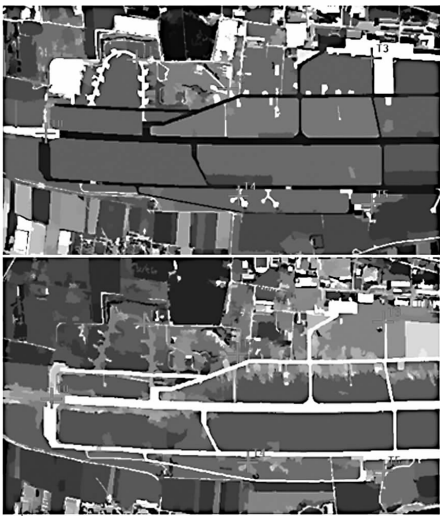


图 4 可见光图像与红外图像匹配结果

Fig. 4 Matching result of optic and infrared images

3 实验结果

采用 meanshift 方法对可见光、红外以及 SAR 图像对进行分割,分别用本文的两种评价指标进行实验,采用5像素的搜索步长。图4是实验的一对可见光和红外图像的匹配结果,上为可见光图像,下为红外图像。两种算法都取得了正确的结果。

图5是最大区域重合度匹配的匹配系数图,纵轴坐标表示最大区域重合度计算的像素数。图6是最小新增边缘指标的匹配系数图,纵轴坐标是对最小新增边缘长度取倒数,因此最大值点即为匹配点。

大量图像实验表明,两种算法在红外与可见光图像上都具有不错的匹配效果,但在可见光与 SAR 图像匹配上尚存在问题。原因在于采用的 meanshift 分割算法难以对 SAR 图像进行满意的

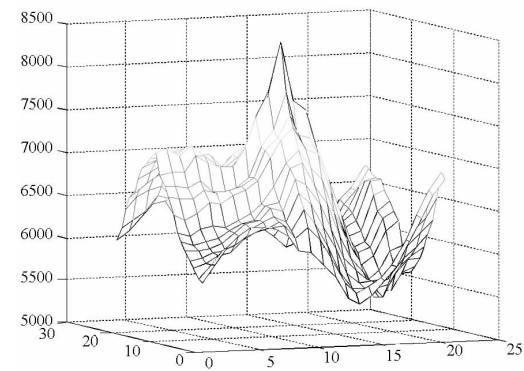


图 5 最大区域重合度匹配峰值图

Fig. 5 Response of segmentation similarity

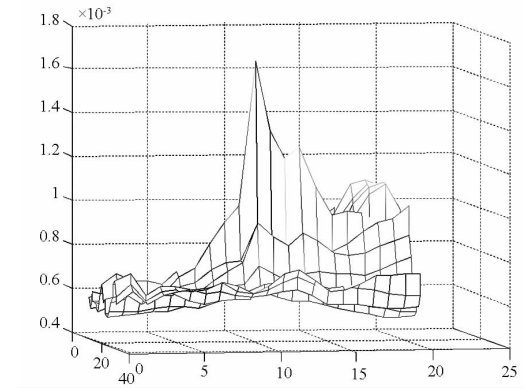


图 6 最小新增边缘匹配峰值图

Fig. 6 Response of minimal edges

分割,提取的区域不能反映图像的主要特征。

4 结论

本文提出了一种基于图像分割的异源图像匹配新思路,该方法能容忍一定的由异源特性、景象变化等引起的分割结果差异。在可见光与红外图像匹配上,两种匹配方法都取得了较好的效果。

目前只实现了在分割基础上的异源匹配,实际上图像分割必须与分割的目的结合起来。在异源匹配的研究背景下,即“以匹配为目的的分割”:分割的粒度只需分割到能确定正确匹配的层次即可,并不需要对图像做完全的分割;通常的分割往往存在多种解,通过匹配能找到正确的匹配对以及正确的分割。接下来的研究将集中于将图像分割提取特征的过程与图像匹配的过程结合起来,实现特征的有效提取和异源图像的可靠匹配。

参考文献 (References)

[1] Kern J P, Pattichis M S. Robust multispectral image registration using mutual-information models [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45 (5): 1494 - 1505.

[2] Bu Y L, Peng S C, Wang N, et al. Constriction of mutual information based matching-suitable features for SAR Image

aided navigation [C]//Proceedings of International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, ESIAT 2009, Wuhan: IEEE, 2009: 386 - 390.

[3] Lu X, Zhang S, Su H, et al. Mutual information-based multimodal image registration using a novel joint histogram estimation[J]. Comput Med Imaging Graph, 2008, 32(3): 202 - 209.

[4] Keller Y, Averbuch A. Implicit similarity: a new approach to multi-sensor image registration [C]//Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Madison: IEEE, 2003: II - 543 - 8.

[5] Keller Y, Averbuch A. Robust multi-sensor image registration using pixel migration [C]//Proceedings of Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop. Hoboken: IEEE, 2002: 100 - 104.

[6] 王鲲鹏,徐一丹,于起峰. 红外与可见光图像配准方法分类及现状[J]. 红外技术, 2009. 31(5), P270 - 274. WANG Kungpeng, XUN Yidan, YU Qifeng. Classification and state of IR/Visible image registration methods [J]. Infrared technology, 2009, 31(5): 270 - 274. (in Chinese)

[7] 李禹, 计科锋, 栗毅. 合成孔径雷达图像分割技术综述[J]. 宇航学报, 2008, 29(2): 407 - 412. LI Yu, JI Kefeng, SU Yi. Surveys on SAR image segmentation algorithms[J]. Journal of Astronautics, 2008, 29(2): 407 - 412. (in Chinese)

[8] 闫成新. 基于区域的图像分割技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004. YAN Chengxin. Study on region based image segmentation technique[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004. (in Chinese)

[9] 张运杰. 基于模糊系统理论的图像分割技术研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2007. ZHANG Yunjie. Research of image segmentation methods based on fuzzy systems theory[D]. Dalian: Maritime Affairs University of Dalian, 2007. (in Chinese)

[10] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: active contour models[J]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1 (4): 321 - 331.

[11] 钱芸, 张英杰. 水平集的图像分割方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(1): 7 - 13. QIAN Yun, ZHANG Yingjie. Level set methods and its application on image segmentation[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(1): 7 - 13. (in Chinese)

[12] Scarpa G, Gaetano R, Haindl M, et al. Hierarchical multiple markov chain model for unsupervised texture segmentation[J]. IEEE Trans Image Process, 2009, 18(8): 1830 - 1843.

[13] Zhai Y, Shah M. Video scene segmentation using markov chain monte carlo [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2006, 8(4): 686 - 697.

[14] Tu Z W, Zhu S C. Image segmentation by data-driven markov chain monte carlo [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 657 - 673.

[15] Tu Z W, Zhu S C. Parsing images into regions, curves, and curve groups[J]. International Journal of Computer Vision, 2006, 69(2): 223 - 249.

[16] 王鹏伟. 基于多尺度理论的图像分割方法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007. WANG Pengwei. Research on image segmentation method based on multi-scale theory[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2007. (in Chinese)