

方向相关与互信息加权组合多模图像配准方法

谭东杰, 张 安

(西北工业大学 电子信息学院, 陕西 西安 710072)

摘 要: 针对可见光与红外图像的配准问题, 提出了一种基于边缘方向相关和局部优选区域互信息加权的配准方法。首先进行区域划分, 建立区域优选测度, 选取信息量丰富的局部区域; 在优选区域的基础上, 引入了图像的边缘方向信息, 构造边缘方向图, 以增加全局空间特征; 然后, 通过综合局部区域灰度信息和全局边缘方向信息, 将互相关测度和互信息测度加权集成, 构造了一种新的相似测度。实验结果表明, 边缘方向相关测度的引入, 提高了基于互信息的图像配准的精度, 利用局部优选区域代替整幅图像提高了算法的速度。

关键词: 多模图像配准; 互信息; 区域优选; 方向相关

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)03-0836-06

Multi-model image registration based on weighted orientation correlation and mutual information

Tan Dongjie, Zhang An

(School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: An improved multi-model image registration method was proposed for visible and infrared image registration, which was based on optimal region mutual information (MI) and edge orientation correlation (OC). Firstly, with proper principle, local regions with rich information were selected by image partition. Then, in order to include spatial information, image edge orientation was introduced to construct an edge orientation map. Finally, by integrating the correlation of edge orientation map and MI of optimal regions with a trade-off weight, a new similarity metric was constructed. Experiment results show that by combining edge orientation correlation, this new metric can effectively improve the accuracy of MI based method, and processing with local optimal regions instead of whole image can improve the efficiency.

Key words: multi-model image registration; mutual information; optimal region selection; edge orientation correlation

收稿日期: 2012-07-05; 修订日期: 2012-08-03

基金项目: 国家自然科学基金(40905011)

作者简介: 谭东杰(1972-), 男, 博士生, 主要从事光学制导方面的研究。Email: tj2011@sohu.com

导师简介: 张安(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事航空武器火力控制技术方面的研究。

0 引言

多模图像配准是图像融合、拼接及变化检测等问题的关键技术,广泛应用于目标识别跟踪、遥感、医学等领域^[1-2]。其中,红外与可见光图像的配准是多模图像配准研究的热点和难点之一^[3-4]。自从基于互信息的方法被引入医学图像配准中后,在多模医学图像配准中取得了较好的结果^[5-6],是目前多模图像配准的重要方法之一,因此,不少学者将其应用于解决红外与可见光图像的配准问题^[7]。

但是,基于互信息方法只考虑了图像单一像素的灰度信息,忽略了像素间空间信息及图像整体结构信息。当图像全局统计相关性较差时,易陷入局部极值,造成误匹配。为此,研究学者提出多种方式引入空间信息,以提高算法的鲁棒性。如增加像素的邻域信息,提出了高阶互信息^[8]、区域互信息^[9]等;引入图像边缘方向^[2]、梯度等^[10-11]与互信息结合作为相似性测度。然而,现有方法通常需要构造多维直方图,或计算图像中所有像素点的梯度相似性,计算量较大。由于红外与可见光图像的全局统计相关性较差,利用整幅图像所有的灰度信息进行统计,对互信息计算造成不利的影响。另一方面,由于红外和可见光图像灰度分布复杂,仅依靠互信息单一测度难以有效衡量二者的相似性,容易产生误匹配。

针对上述问题,文中提出了基于优选区域互信息和边缘方向相关的多模图像配准方法。通过选取信息量丰富的局部区域,增强像素灰度在互信息匹配中的可用性。并引入边缘方向特征弥补互信息计算中缺少空间信息的不足,将互相关测度与互信息相结合,提高算法匹配性能。

1 算法描述

算法的整体框图如图1所示。该算法包括3部分:首先针对红外图像噪声大、对比度低的特点,采用直方图均衡方法^[12]进行预处理。其次,对图像进行区域优选并且构造边缘方向图,以提取图像中信息丰富的局部区域及全局重要的结构特征。最后,综合利用优选区域的互信息和边缘方向互相关构造一种新的测度,用于多模图像的配准。文中重点研究了后两部分内容,下面将具体介绍。

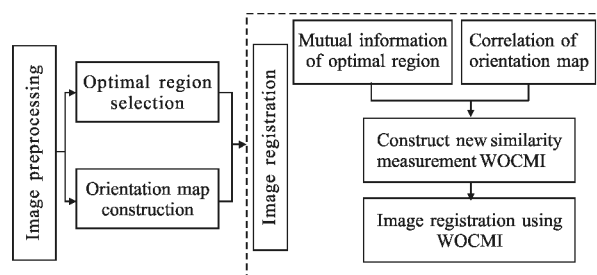


图1 算法整体框图

Fig.1 Overall block diagram of the algorithm

1.1 区域优选和边缘方向图构造

1.1.1 区域优选

红外与可见光图像全局统计相关性较差,利用整幅图像的灰度值计算梯度互信息容易产生多个极值,计算量也相对比较大。另一方面,从互信息的定义^[5],可以看出互信息测度最大化意味着从两幅图像中获取尽可能多的复杂性或不确定性,即最大化边缘熵,其结果使得两个变量联合熵最小化。因此,文中参照文献[13]中的区域划分方法,以信息熵和边缘密度加和构造优选测度,对图像逐级划分,选取熵和边缘密度值较大的区域作为优选区域。

区域优选得到了图像中信息量丰富的局部区域,利用局部优选区域代替整幅图像进行匹配,不仅可以提高测度的可靠性,同时能够减少计算量。在配准时,为了利用优选区域的灰度和空间特征信息,文中选用梯度互信息测度衡量优选区域的相似性。

1.1.2 边缘方向图

文中利用图像边缘和梯度方向特征构造边缘方向图,目的是保留图像中边缘像素的梯度方向,剔除非边缘点的梯度方向,以突出图像中的重要特征,减少参与计算的像素量。由于红外和可见光图像的灰度分布不同,红外图像的对比度较低,在进行边缘检测时,会产生不连续边缘或者造成弱边缘的丢失。为了确保两幅图像中边缘的完整性,文中对边缘像素进行扩展,提出了如下边缘方向图构造方法。

首先,对参考可见光图像 I ,提取边缘扩展区域。利用Canny算子检测图像边缘,并对边缘图像进行距离变换^[14]。通过对距离变换图进行阈值划分,保留小于 d_1 的像素,得到边缘扩展区域,记为 E ;

其次,利用下式计算图像各像素点 (x,y) 处的梯度方向 $\theta(x,y)$,其中 $CGy(x,y)$ 和 $CGx(x,y)$ 代表 (x,y) 处的

垂直和水平方向的梯度,在 Canny 算子计算中得到;

$$\theta(x, y) = \arctan(\text{CGy}(x, y) / \text{CGx}(x, y)) \quad (1)$$

最后,将图像各点的梯度方向与边缘扩展区域图像中对应点相乘,即得到图像的边缘方向图 $I\theta$,表达式为:

$$I\theta(x, y) = E(x, y) \times \theta(x, y) \quad (2)$$

式中: $E(x, y)$ 为边缘扩展区域图像 E 在 (x, y) 处的取值,即如果像素 (x, y) 距离边缘像素点的距离小于阈值 d_t ,则取值为 1,否则为 0。边缘扩展区域实际是一个二值掩膜,通过将二者相乘,保留图像中梯度值较大、较稳定的梯度方向信息,即位于边缘附近的梯度方向。对于红外图像 J ,同样构造边缘方向图,记 $J\theta$ 。

1.2 基于边缘方向相关与互信息加权的配准方法

综合图像的局部区域灰度和全局空间信息,文中提出了边缘方向互相关和优选区域互信息加权的匹配测度 (Weighted Orientation Correlation and Mutual Information, WOCMI),表达式如下:

$$\text{WOCMI}(I, J) = \alpha \cdot \sum_{n=1}^N \text{GMI}(CI_n, CJ_n) + \beta \cdot \text{CC}(I\theta, J\theta) \quad (3)$$

式中: $\text{GMI}(CI_n, CJ_n)$ 表示图像局部优选区域的梯度互信息^[11], $\text{CC}(I\theta, J\theta)$ 表示边缘方向图的互相关系数; $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$,且 $\alpha + \beta = 1$ 用以权衡互信息和互相关测度的权值。

WOCMI 测度在局部优选区域灰度信息的基础上,增加了稳定的边缘方向特征,综合利用了图像的局部区域信息和全局空间特征,采用加权方式将互信息和互相关测度相结合,通过两种测度的相互补充,以提高测度的可靠性。

文中利用 WOCMI 作为相似测度对红外和可见光图像进行配准,即寻找最优变换参数 T^* ,使得 WOCMI 取得最大值:

$$T^* = \underset{T}{\text{argmax}} (\text{WOCMI}(J, T(I))) \quad (4)$$

整体算法步骤总结如下:

(1) 利用 CLAHE 算法对可见光和红外图像进行预处理;

(2) 利用区域划分优选方法,从预处理后的可见光和红外图像中优选局部匹配区域;构造预处理后红外和可见光图像的边缘方向图;

(3) 设定初始空间变换 T_0 ;

(4) 对可见光图像的局部优选区域 CI 及边缘方

向图 I 做变换。利用 $T_0(CI), T_0(I\theta)$ 和红外图像局部优选区域 CJ 和边缘方向图 $J\theta$ 计算 WOCMI 测度值;

(5) 通过 Powell 优化方法搜索新的变换 T ,返回步骤 4 重复迭代,直到 WOCMI 测度取得最大,输出最优变换参数 T^* 。

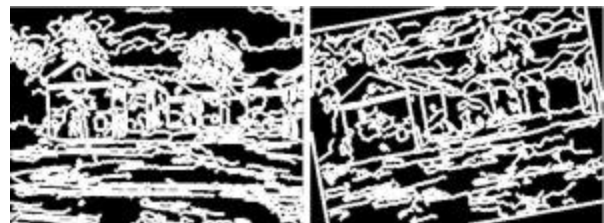
(6) 最后利用最优配准参数 T^* 对红外和可见光图像进行配准。

2 实验结果

对两组大小为 360×270 的可见光和红外图像进行实验,程序运行环境为 Matlab R2011b,计算机配置为 Intel Pentium 2.80 GHz CPU, with 1.00 GB RAM,部分结果如下。

2.1 边缘方向图和区域优选结果

利用文中提出的方法进行构造边缘方向图及局部区域优选,具体参数为:边缘扩展阈值 $d_t=2$,区域优选阈值 t 的取值为整幅图像的熵值,区域大小筛选阈值 $M \times N=40 \times 40$ 。结果如图 2 所示,其中,图 2(a)为边缘方向图,图 2(b)为区域优选结果,黑色矩形框标注选中的区域。



(a) 边缘方向图

(a) Edge orientations



(b) 区域优选结果

(b) Optimal regions

图 2 边缘方向图和优选区域

Fig.2 Edge orientation image and optimal regions

图 2 显示,通过边缘区域扩展,保证了红外和可见光图像中边缘信息的完整性,区域优选可以有效选取图像中信息丰富的区域。

为了说明边缘区域扩展的有效性,文中对用边缘扩展区域及仅利用边缘像素得到的 WOCMI 测度曲线进行对比。实验中红外图像为参考图像,可见光图像为浮动图像,通过对浮动图像进行水平和垂直平移变换,计算测度值,结果如图 3 所示。

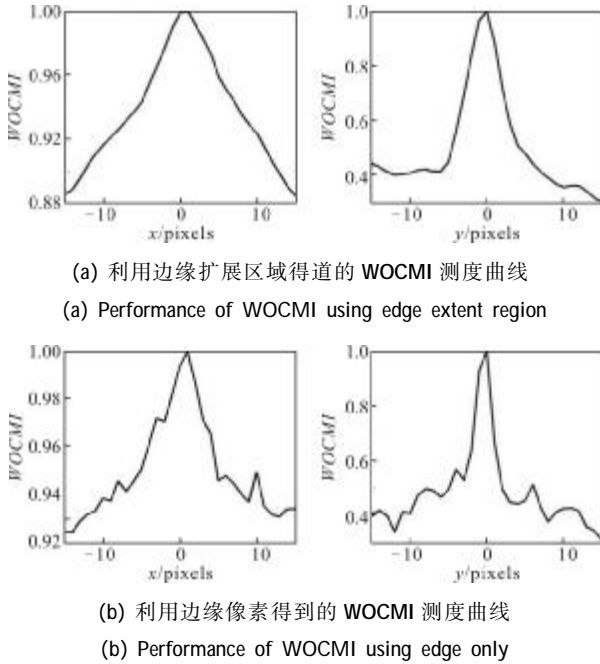


图 3 边缘扩展对 WOCMI 测度曲线的影响
Fig.3 Influence of edge extent region on the performance of WOCMI

从图 3 可以看出,边缘区域扩展增加了匹配中可以利用的信息,有效减少了局部极值的产生,降低了误匹配率。

2.2 测度函数曲线比较

为了说明文中测度的有效性,对各种测度函数曲线进行了对比。所选测度函数为归一化互信息(NMI)^[6],梯度互信息(GMI)^[10],区域互信息(RMI)^[9],高阶互信息(HMI)^[8]和文中提出的基于边缘方向相关和优选区域互信息加权的测度(WOCMI)。为了便于比较,对各测度进行归一化映射到[0,1]范围内。

将红外图像作为参考图像,可见光图像作为浮动图像,对浮动图像分别进行平移和旋转变换,与红外图像计算相似测度值,部分实验结果如图 4 所示。

其中,平移包括水平、垂直两个方向,像素的平移范围为[-15,15],负号表示向左(或上)平移,正号表示向右(或下)平移;同样对浮动图像进行绕中心旋转一定的角度后与参考图像计算相似测度值,角

度的范围为[-15,15],负号表示顺时针旋转,正号表示逆时针旋转。

图 4 结果表明,文中提出的 WOCMI 测度曲线对于图像的旋转和平移变换都具有比较尖锐的峰值,有利于最优变换参数的搜索,减小误匹配。

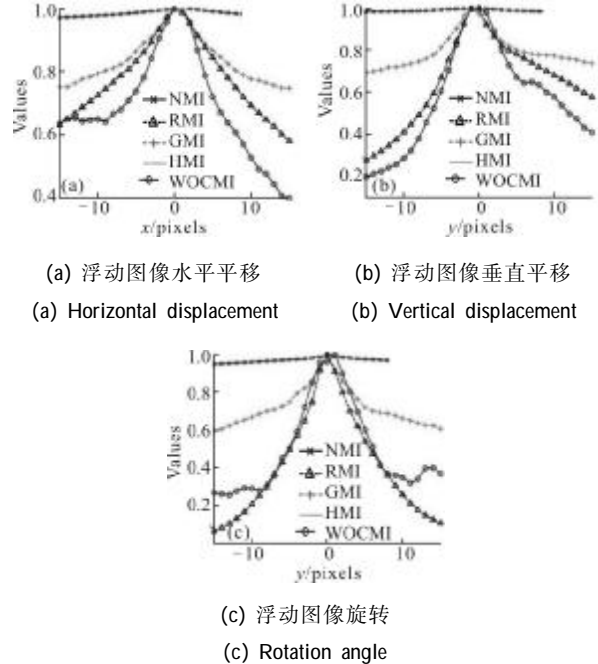


图 4 不同测度曲线比较
Fig.4 Comparison of different measurement curve

2.3 配准结果

利用 WOCMI 测度对可见光和红外图像配准,采用刚体变换模型, Powell 优化方法搜索变换参数 T^* 。为了保护红外图像信息,对可见光图像变换,使其与红外图像对齐。

WOCMI 测度中权值的选择需根据实际情况确定,该实验中设定 $\alpha=0.5, \beta=0.5$,部分实验结果如图 5 所示。其中,图 5(a)为可见光图像,图 5(b)为变换后的结果,图 5(c)为变换后的可见光图像与红外图像边缘叠加显示结果。为了直观的显示结果,将变换后的可见光图像和红外图像进行边缘叠加显示,其中明线代表红外图像,暗线代表可见光图像。图 5(d)为红外图像目标定位结果,其中“O”代表人工指定的真实目标位置,“+”代表利用匹配结果进行目标定位的位置。

图 5(d)显示,匹配定位的目标位置“+”几乎与真实目标位置“O”具有较高的一致性,说明文中算法具有较高匹配精度。



(a) 原始可见光图像

(a) Original visible images



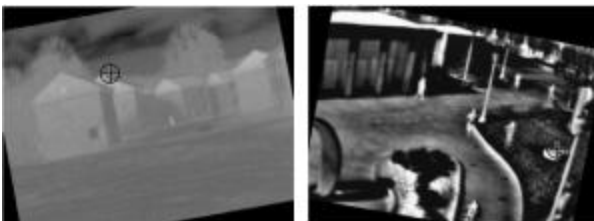
(b) 变换后的可见光图像

(b) Visible images after transformation



(c) 边缘叠加显示结果

(c) Edges superposition results



(d) 红外图像定位结果

(d) Infrared targets location results

图 5 图像配准及目标定位结果

Fig.5 Image registration and target location results

为了进一步评价算法的性能,文中利用匹配结果对红外图像目标进行定位,通过定位坐标与实际坐标的误差值来衡量匹配的精度,对实验结果进行定量分析。与利用整幅图像计算的归一化互信息、梯度互信息、区域互信息和高阶互信息,从配准时间和配准误差方面进行了比较,得出结果如表 1 所示。

表 1 结果表明,文中算法可以有效提高传统互信息匹配算法的精度。在计算量方面,由于引入了区域的划分优选和边缘方向图的构造,算法的步骤有

所增加,但是文中算法利用局部优选的区域代替整幅图像,节省了大量搜索计算时间。因此与利用整幅图像计算的 NMI, GMI, RMI 和 HMI 相比,文中算法处理时间更短,在保证匹配精度的情况下,有效提高了双模图像匹配效率。

表 1 算法比较结果

Tab.1 Comparison results

Algorithms	Error/pixels	Time/s
NMI [6]	1.25	27.07
GMI [10]	0.57	32.91
RMI [9]	0.61	43.75
HMI [8]	1.42	56.5
Proposed method	0.93	18.34

3 结论

文中针对红外和可见光图像配准问题,提出了一种改进的基于互信息的多模图像配准方法。在图像预处理的基础上,综合利用了图像的局部灰度信息与全局空间信息,采用加权的方法将互相关测度与互信息测度结合起来,构造了一种新的匹配测度。实验结果表明,文中算法可以有效改进互信息算法的性能。利用局部区域代替整幅图像进行互信息匹配可以有效减少运算时间;边缘方向互相关的引入,有利于提高测度的可靠性,提高配准的精度。文中对图像的划分采用的是比较简单的逐级平均划分方法,在将来的工作中将对区域的划分优选方法做进一步的研究,以更加快速有效的提取图像中重要的局部信息。

参考文献:

- [1] Zitova' B, Flusser J. Image registration methods: a survey[J]. *Image and Vision Computing*, 2003, 21: 977-1000.
- [2] Kim Y S, Lee J H. Multi-sensor image registration based on intensity and edge orientation information [J]. *Pattern Recognition*, 2008, 41(11): 3356-3365.
- [3] Wang Kunpeng, Xu Yidan, Yu Qifeng. Classification and state of IR/visible image registration methods [J]. *Infrared Technology*, 2009, 31(5): 270-274. (in Chinese)
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): 270-274.

- [4] Ding Lin, Ni Xiliang, Jiang Tao, et al. Automatic registration of CCD images and IR images based on invariant feature[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(2): 350-354. (in Chinese)
丁琳, 倪希亮, 江涛, 等. 基于不变特征的 CCD 影像与红外影像的自动配准[J]. *红外与激光工程*, 2011, 40(2): 350-354.
- [5] Pluim J P W, Maintz J B A. Mutual information based registration of medical images: a survey[J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2003, 22(8): 986-1004.
- [6] Studholme, Hill D L G, Hawkes D J. An overlap invariant entropy measure of 3D medical image alignment [J]. *Pattern Recognition*, 1999, 32(1): 71-86.
- [7] Zang Li, Wang Jingdong. Infrared and visible light image fast registration based on mutual information [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(1): 164-168. (in Chinese)
臧丽, 王敬东. 基于互信息的红外与可见光图像快速配准[J]. *红外与激光工程*, 2008, 37(1): 164-168.
- [8] Rueckert D. Non-rigid registration using higher-order mutual information[C]//SPIE, 2000, 3979: 438.
- [9] Russakoff D B, Tomasi C. Image similarity using mutual information of regions [J]. *Computer Vision-ECCV*, 2004: 596-607.
- [10] Pluim J P W. Image registration by maximization of combined mutual information and gradient information [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2000, 19(8): 809-814.
- [11] Bai Lianfa, Han Jing, Zhang Yi, et al. Registration algorithm of infrared and visible images based on improved gradient normalized mutual information and particle swarm optimization[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(1): 248-254. (in Chinese)
柏连发, 韩静, 张毅, 等. 采用改进梯度互信息和粒子群优化算法的红外与可见光图像配准算法 [J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(1): 248-254.
- [12] Liu Zhaoying, Zhou Fugen, Bai Xiangzhi, et al. Multi-modal image registration by mutual information based on optimal region selection [C]//2010 International Conference on Information Networking and Automation (ICINA), 2010, 2: V2-249-V2-253.
- [13] Bai Junqi, Chen Qian, Wang Xianya, et al. Contrast enhancement algorithm of infrared image based on noise filtering model [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2010, 39(4): 777-780. (in Chinese)
白俊奇, 陈钱, 王娴雅, 等. 红外图像噪声滤波对比度增强算法[J]. *红外与激光工程*, 2010, 39(4): 777-780.
- [14] Breu Heinz, Joseph Gil, David Kirkpatrick, et al. Linear time euclidean distance transform algorithms [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995, 17(5): 529-533.

下期预览

草地的红外纹理建模与真实感绘制方法研究

柳倩^{1,2,3,4}, 朱枫^{1,3,4}, 郝颖明^{1,3,4}, 金增辉⁵, 付双飞^{1,3,4}

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院光电信息处理重点实验室, 辽宁 沈阳 110016; 4. 辽宁省图像理解与视觉计算重点实验室,
辽宁 沈阳 110016; 5. 空军驻沈阳地区代表室, 辽宁 沈阳 110016)

摘要: 纹理是使图像具有视觉真实感的重要因素, 红外纹理生成是场景红外成像仿真的重要组成部分, 也是真实感场景仿真的迫切需求。文中以在图像平面直接生成具有真实感的景物红外纹理图像为目标, 提出了一种草地的红外纹理建模与真实感绘制方法, 从模拟组分温度分布和空间结构形态两方面开展研究。首先, 考虑土壤-植被-大气间的热交换过程, 建立红外辐射的耦合求解模型; 其次, 构建各组分的空间分布模式; 最后, 将已经求解的红外辐射数据映射到图像空间, 生成具有真实感的红外纹理图像。文中对近距离或“放大”状态下草地红外纹理的视觉效果进行模拟, 理论分析和仿真结果表明, 文中提出的红外纹理模拟方法具有一定的合理性和有效性。