

## 基于特征匹配的影像可匹配性研究\*

安如<sup>1,3</sup>, 金夏玲<sup>2</sup>, 王慧麟<sup>3</sup>, 冯学智<sup>3</sup>, 徐大新<sup>4</sup>

(1.河海大学 水资源环境学院 地理信息科学系, 江苏 南京 210098; 2.河海大学 土木工程学院  
测绘工程系, 江苏 南京 210098; 3.南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093;  
4.中国航天科工集团三院 35 所, 北京 100013)

**摘要:**对基于特征匹配的影像可匹配性评价方法进行了探讨。从分析影像所包含的信息量入手,提出了通过计算影像的信息熵和累加梯度值进行基于特征匹配的影像可匹配性评价方法。通过基于角点特征和 Hausdorff 距离的影像匹配实验,发现影像信息熵和累加梯度值与影像可匹配性(即正确匹配概率)之间存在很强的相关性,尽管由于地表景观的不同,表现出的具体规律略有差异,但都表现出匹配正确率随影像信息熵和累加梯度的增大而增大的趋势。因此,可通过对影像信息量的评价来进行基准图的自动选取和飞行路径的规划;在实时匹配导航过程中,可根据获取的每一实时影像所含信息量,来决定是否进行匹配,这样既可以保证匹配的正确性,避免误导,又可节省匹配时间。提出方法对基于灰度相关的影像可匹配性评价具有借鉴意义。

**关键词:**特征匹配; 信息熵; 累加梯度值; 可匹配性

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)04-0469-05

## Image ability to obtain correct matching based on feature matching\*

AN Ru<sup>1,3</sup>, JIN Xia-ling<sup>2</sup>, WANG Hui-lin<sup>3</sup>, FENG Xue-zhi<sup>3</sup>, XU Da-xin<sup>4</sup>

(1. Geographical Information Science Department, Water Resource and Environment College, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
2. Surveying and Mapping Engineering Department, Civil Engineering College, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
3. Department of Urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China;  
4. The 35th Institute, 3rd Academy, CASIC, Beijing 100013, China)

**Abstract:** The evaluating approach of image's ability to obtain correct matching based on image feature matching is discussed. It is suggested that information entropy and summation of image gradient can be used for evaluating image's ability to obtain correct matching. By the test of image matching based on corner feature and Hausdorff distance, the relation among correct matching probability and information entropy and summation of image gradient is discovered. Strong correlation exists among correct matching probability and information entropy and summation of image gradient. It is shown that correct

收稿日期: 2004-09-20; 修订日期: 2004-10-20

\* 基金项目: 航天预研基金资助项目; 河海大学科技发展基金资助项目(1043-403079)

作者简介: 安如(1963-), 女, 江苏淮安人, 副教授, 博士, 主要研究方向为遥感、地理信息系统的理论、方法和应用。

matching probability is increasing with the increasing of information entropy and summation of image gradient, although concrete rule is of tiny difference because of the field surface landscape's difference. Therefore, through calculating image's information content, automatic reference image selection and planning navigation route can be done. During real-time matching navigation, whether matching carried out or not would be confirmed by evaluation real-time image's information content. To do as such, higher correct matching probability would be obtained, misguide would be avoided and matching time would be saved. The method of the paper can also be available in image evaluation based on gray-level image matching.

**Key words:** Feature matching; Information entropy; Summation of image gradient; Image ability to obtain correct matching

## 0 引言

影像匹配是自主导航飞行器的一种重要的精确辅助导航方法。影像匹配就是由飞行器实时拍摄的影像(称实时影像)与预存在飞行器中的基准影像进行匹配,确定实时影像在基准影像中的位置,达到定位导航的目的。对基准影像可匹配性的评价是规划飞行路径、自动选择匹配区的关键问题。基于灰度相关算法影像匹配区的选择与评价,很多学者进行了研究,并提出了一些方法,如采用 BP 网络对实时图像的自动选取,根据最小相关长度来选择最佳匹配子区,基于边缘密度预筛选和建立信噪比、重复模式与匹配概率之间的三维模型的方法,根据景象信息量、稳定性和重复模式等各项特征参数建立匹配区的选择方法;影像特征分析的方法,分形分析,计算独立像元数,确定自相关峰,信噪比评价等<sup>[1-9]</sup>。通过这些特征分析,看该影像是否适合作匹配区。用作匹配区的影像必须满足两个条件:(1)影像灰度变化大,即影像信息丰富;(2)无自相似影像块。

实验表明,对于灰度相关,即使地表特征信息不够丰富(如农田区),如果待匹配影像间的灰度差变化不大,即信噪比较高时,也能取得好的匹配效果。基于灰度相关的匹配有效性主要取决于两影像灰度分布的相似性。而基于特征的影像匹配的有效性则完全取决于地表特征信息的丰富程度,即能探测出的特征的多少(如角点特征)。在影像均值区,如农田或水面,影像灰度变化很小,能探测出的特征点数量也少,在这样的区域进行匹配难免失败。因此,基于灰度相关,影像信噪比与配准概率有很强的相关性<sup>[10]</sup>,但基于特征

匹配,影像信噪比与配准概率是否也存在很强的相关性?如何对影像信息作出定量的评价,以此为依据而充分估计出能否取得正确匹配?这是本文要说明的问题。

基于特征的影像匹配,能否成功与影像本身所含的信息量有十分重要的关系。对影像信息量的评价本文主要采用信息熵和累加梯度的方法<sup>[11]</sup>。通过信息熵或影像梯度的计算,可区分出信息丰富区和信息贫乏区,匹配仅在信息丰富区进行。这样既节省了总的匹配时间,又增加了正确匹配概率。通过基于点特征的实际影像匹配的实例,说明信息量与匹配正确率之间的关系。

## 1 影像信息量的评价方法

### 1.1 信息熵

从信息量理论可知,信息熵是影像不确定性的一种度量。例如,具有复杂景观的影像比均值影像具有高的不确定性,因此信息熵就高,后者信息熵就低,如图 2 所示。

对于大小为 $[M,N]$ 的图像,信息熵计算公式为:

$$H_f = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} \log_2 P_{ij} \quad (1)$$

式中  $P_{ij}$  是不同的灰度值在整个图像中出现的概率。

### 1.2 累加梯度

梯度值原本反应的是图像边缘是否较突出,即图像的轮廓是否较清晰。对于一幅图像中突出的边缘区,其梯度值较大;对于平滑区,梯度值较小;对于灰度级为常数的区域,梯度为零。根据如图 1 所示的 Sobel 算

子计算影像  $f(x,y)$  位于  $(x,y)$  处的影像梯度<sup>[11,12]</sup>。

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

图1 3×3卷积核和Sobel算子的影像区域

Fig.1 Image area of 3×3 convolution kernel and Sobel operators

沿  $x$  方向和  $y$  方向的梯度分别为:

$$G_x=(z_7+2z_8+z_9)-(z_1+2z_2+z_3) \quad (2)$$

$$G_y=(z_3+2z_6+z_9)-(z_1+2z_4+z_7) \quad (3)$$

影像  $f(x,y)$  在位置  $(x,y)$  处的影像梯度为矢量:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (4)$$

梯度模为:

$$mag(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad (5)$$

式中  $mag(\nabla f)$  是影像块的梯度值。对整幅图像进行每个像元的梯度值的累加,就得到图像的累加梯度值,反映了影像存在边缘及影像灰度变化的情况。因此,可用其代表影像的信息量。

由实验可知,信息熵和累加梯度值反映影像的灰度变化,是影像信息内容的测度,两者之间具有一定的联系,信息熵大,累加梯度值也大,信息熵小,累加梯度值也小,如图2所示。这说明累加梯度值和信息熵都反映了影像块信息量的大小。并且累加梯度值比信息熵更敏锐地反映了图像的信息量。本文计算的是  $64 \times 64$  大小的影像块的累加梯度值,所以累加梯度值是相对的。

对于特征匹配方法,累加梯度值大的区域比较容易配准,累加梯度值小的区域,由于信息量不够大,不容易配准。但是如果图像本身的自相似性较强,就很容易产生误匹配。

## 2 影像匹配

本文的匹配是采用基于角点特征和改进的 Hausdorff 距离的匹配方法。

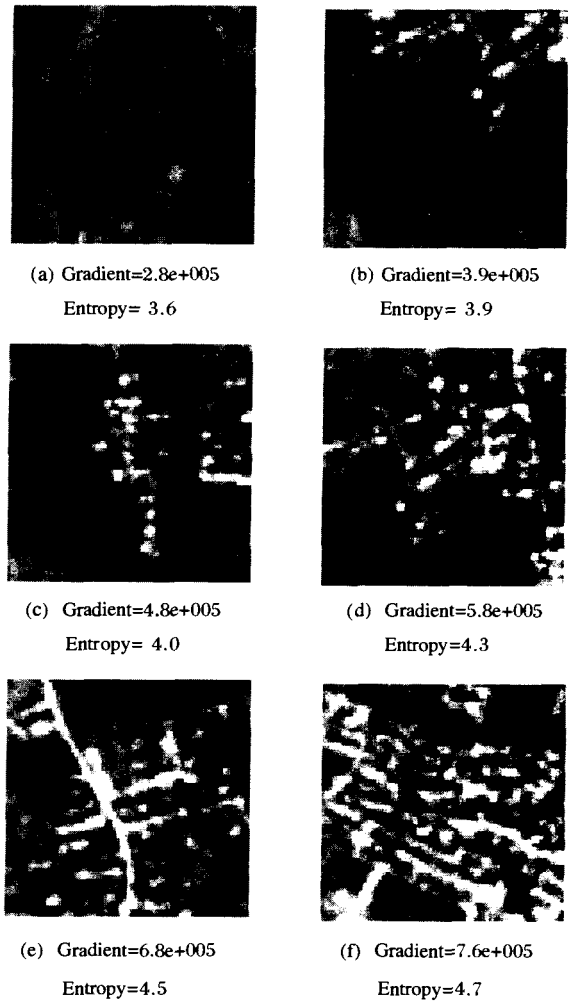


图2 影像的信息熵和累加梯度(影像大小为  $64 \times 64$ )

Fig.2 Information entropy and summation of image gradients (size is  $64 \times 64$ )

### 2.1 角点探测

基于 SUSAN<sup>[13]</sup>和角点几何结构分析的思想<sup>[14]</sup>提出了一种改进的快速角点探测算子。首先进行角点粗探测,然后根据粗探测的结果,再进行角点几何结构分析,即图像中的像元如果为角点,必须满足角点的圈层结构。该算法具有较好的抗噪声和几何形变的能力,提取的角点有很好的突出性,是一种快速有效的提取角点特征的方法。

角点提取的方法不在此详细叙述。

### 2.2 影像匹配

本文采用改进的 Hausdorff 距离,综合考虑了噪声、出格点、两点集的多点少点等因素,以去除出格点以后的平均距离作为点集之间距离的度量,距离最小

者即为所要搜寻的影像对<sup>[15,16]</sup>。影像匹配过程如下:

#### (1) 影像预处理

对实时和参考影像取不同的  $\sigma$  值进行高斯卷积滤波处理。

#### (2) 角点探测

在校正后的影像上,用快速角点探测方法进行角点探测。

#### (3) 距离变换

对已探测的实时和参考角点二值影像用 3-4DT 方法进行距离变换,得到距离图像。在距离图像中,每个像元的值就是该点到最近角点的近似距离。实时影像上探测出的点集与参考影像相应窗口点集叠合,实时影像上的角点落在参考影像的像元上,这些参考影像像元的距离值即为实时影像的角点到参考影像角点集的最短距离。同理,可求得参考影像对应窗口点集到实时影像点集的最短距离。

#### (4) 影像匹配

对于参考影像每一个候选匹配位置,将实时影像所探测出角点二值图像作为集合  $A$ , 对应参考影像块作为集合  $B$ , 分别统计  $A$  和  $B$  像元值为“0”的个数,得实时影像与相应参考影像块所探测出的点的数目。从距离图像上得到集合  $A$  所有点到集合  $B$  所有点的最短距离,与阈值  $th$  进行比较,得到剔除出格点的点数及相应距离,计算相似性度量值,最后以距离值最小为最佳匹配。

### 3 实验与讨论

实验采用了同一地区,来自不同传感器,且在不同时间拍摄的遥感影像,根据地表景观的不同,截取了若干组图像用于匹配。其中的一组如图 3 所示。图 (a) 是印度的 IRS 影像,图 (b) 是 SPOT 影像。空间分辨率分别为 10 m 和 5.8 m。从图中可以看出两组影像在光照、地表特征、空间分辨率等方面都有很大的差异。对各组影像用上述方法进行角点的提取。假设在 IRS 影像中随机截取  $64 \times 64$  的影像块作为实时影像,在 SPOT ( $256 \times 256$ ) 影像中搜索匹配,看其是否能找到正确位置。对每组实验影像均随机截取了 200 个实时影像块,计算每一影像块的梯度和信息熵并进行匹配实验,梯度和信息熵的大小与正确匹配概率的关

系见对应的统计图。实验步骤如下:

(1) 选取一对同一景物,不同传感器的影像,如选取图 3 SPOT 影像为基准图,IRS 影像为截取实时影像的源图像,并对其分别进行一定的预处理(选取最合适的参数进行高斯滤波)。

(2) 对预处理后的两个影像进行点特征的提取。

(3) 在 IRS 影像中随机割取的  $64 \times 64$  大小的影像块(作为实时图)进行距离变换。

(4) 计算实时影像块的信息熵,累加梯度值。

(5) 进行实时影像与基准影像的匹配,看是否能得到正确匹配。这里的正确匹配定义为实时影像块的左上角点坐标与正确位置误差为 1~2 个像元。

通过大量的实验(见图 3(c) 实验图像对应的统计图)发现,正确匹配概率与信息熵和梯度值间存在很强的相关性,尽管由于地表景观的不同,表现出的具体规律略有差异,但都表现了匹配正确率随影像信息熵和累加梯度的增大而增大的趋势,如图 3 所示。

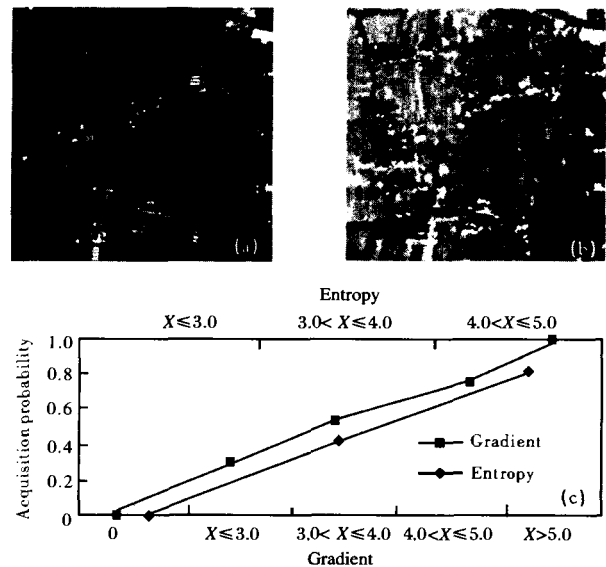


图 3 累加梯度与信息熵和正确匹配概率间的关系  
Fig.3 Relationship among summation of image gradient, information entropy and correct matching probability

实验表明,根据实时影像块的信息熵或累加梯度值来判断该影像块是否可获得正确匹配。如果实时影像块的信息量太少,可不进行匹配。当实时影像块含有较大信息量时再进行匹配,既节省了匹配的时间,又保证了每次匹配结果的正确性。另外,在进行飞行

路径规划和自动选择匹配区时,完全可根据梯度和信息熵来确定。

对基于特征匹配的正确匹配概率与影像信噪比的关系,也进行了实验,发现影像信噪比与基于特征匹配的正确匹配概率之间没有很强的相关性。

## 4 结论

本文对影像的可匹配性与影像所包含的信息量之间的关系进行了探讨。对基于影像特征匹配的基准图的自动选取、飞行路径规划提供了定量评价标准。在实时匹配导航过程中,对获取的每一景物的实时影像,可先进行信息量评价,如所含信息量太低,则不进行匹配。这样既可以保证每次匹配的正确性,避免误导,又可节省匹配时间。本文方法对基于灰度相关的影像评价也有借鉴意义。下一步应对参考影像的自相似性进行研究,这也是引起误匹配的重要因素。

## 参考文献:

- [1] WANG Xiao-jing, XU Da-xin, XU Gao-sheng. Subset selection in signal, image and scene matching[J]. Infrared and Laser Engineering(王晓静,徐大新,许高升.用于信号、图像和景象匹配的特征区选择方法.红外与激光工程),2002,31(5):378-382.
- [2] FU Wen-xing, WANG Jian-min, JIN Shan-liang. A practical method for selecting scene matching area[J]. Journal of Astronautics(付文兴,王建民,金善良.一种实用的景象匹配区选择方法.宇航学报),2003,24(4):348-353.
- [3] DU Jing, ZHANG Tian-xu. Selection of matching region for scene-matching[J]. Infrared and Laser Engineering(杜菁,张天序.景象匹配区的选择方法.红外与激光工程),2003,32(4):368-371.
- [4] LIU Yang, ZHAO Feng-wei, JIN Shan-liang. New method of selecting scene matching reference map[J]. Infrared and Laser Engineering(刘扬,赵峰伟,金善良.景象匹配区的选择方法研究.红外与激光工程),2001,30(3):168-171.
- [5] MA Long, MIAO Dong, SHEN Xu-bang. A selection criterion of scene matching field based on image self-matching[J]. Aerospace Shanghai(马龙,缪栋,沈绪榜.基于图像自匹配性的景象匹配区的选择准则.上海航天),2001,(1):50-54.
- [6] LONG Quan, SHEN Lan-sun. Selection of scene matching area[J]. Journal of Beijing Polytechnic University(龙泉,沈兰荪.下视景象匹配区的选择.北京工业大学学报),1996,22(4):92-96.
- [7] LONG Quan, SHEN Lan-sun. Similarity analysis on reference images in downward looking scene matching system[J]. Journal of Data Acquisition & Processing(龙泉,沈兰荪.下视景象匹配系统基准图的相似性分析.数据采集与处理),1997,12(3):227-229.
- [8] SHEN Lin-cheng, GAO Guo-hua, CHANG Wen-sen, et al. An open system approach to mission route planning[J]. Journal of Astronautics(沈林成,高国华,常文森,等.开放式飞行任务规划方法.宇航学报),1998,19(2):13-18.
- [9] LI Jun, YANG Xin, ZHU Jv-hua, et al. Approach to selection of suitable-matching area from reference image[J]. Journal of Data Acquisition & Processing(李俊,杨新,朱菊华,等.一种选择适配区的算法.数据采集与处理),2000,15(4):495-499.
- [10] SU Kang, GUAN Shi-yi, LIU Jian. A practical normalized cross correlation algorithm for scene matching systems[J]. Journal of Astronautics(苏康,关世义,柳健.一种实用的归一化互相关景象匹配算法.宇航学报),1997,18(3):1-7.
- [11] Prachya Chalermwat. High Performance Automatic Image Registration for Remote Sensing[D]. Virginia: George Mason University, 1999.
- [12] JIA Yong-hong. Computer image processing and analyzing[M]. Wuhan: Wuhan University Publishing House(贾永红.计算机图像处理与分析.武汉:武汉大学出版社),2001.
- [13] Smith S M, Brady M. SUSAN—a new approach to low level image processing[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1):45-78.
- [14] FEI Shen, Han WANG. Real time gray level corner detector[A]. Proc 6th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision[C]. Singapore, 2000.
- [15] ZANG Tie-fei, SHEN Ting-zhi, CHEN Jian-jun, et al. The application of improved Hausdorff distance and genetic algorithm in image matching[J]. Journal of Beijing Institute of Technology(臧铁飞,沈庭芝,陈建军,等.改进的 Hausdorff 距离和遗传算法在图像匹配中的应用[J].北京理工大学学报),2000,20(6):733-737.
- [16] WANG Ya-ming. Image matching based on robust Hausdorff distance[J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics(汪亚明.图像匹配的鲁棒型 Hausdorff 方法.计算机辅助设计与图形学学报),2002,14(3):238-241.