

层次景象匹配区选取准则

江标初, 陈映鹰

(同济大学 测量与国土信息工程系, 上海 200092)

摘要: 提出了由粗到细的层次景象匹配区选取准则, 定义了稳定强度和广义最高峰尖锐度, 从匹配区选取的策略上分析了匹配区的选取问题. 首先选出信息量足够多的匹配区, 再从中筛选出信息量足够强的匹配区, 最后利用唯一性的判断, 排除匹配区相关面多峰值的情况, 选出最佳匹配区. 通过这样的逐层筛选, 实现了匹配区选取的逻辑性和合理性, 可以满足景象匹配的要求.

关键词: 景象匹配; 匹配区; 稳定强度; 广义最高峰尖锐度

中图分类号: TP 391

文献标识码: A

文章编号: 0253-374X(2007)06-0830-04

A Rule of Selecting Scene Matching Area

JIANG Biaochu, CHEN Yingying

(Department of Surveying and Geo-Informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: This paper provides a hierarchical way of selecting optimal scene matching area and defines the measurement of the stable intensity and generalized peak acutance. The new method analyzes strategically the way of selecting the matching area. Firstly the matching region with enough information is selected. Secondly the region with prominent information is screened out from the region acquired by the first step screening. Lastly the optimal matching area is screened out according to the unique characteristic from the region acquired by the second step screening. The method, which is logical and reasonable, can meet the matching requirements.

Key words: scene matching; matching area; stable intensity; generalized peak acutance

景象匹配是利用成像传感器(如可见光、红外、微波雷达等成像传感器)在飞行器飞行过程中收集预定区域(景象匹配区)的景物图像, 实时地将收集的图像数据与预存在飞行器上的基准图像数据进行比较, 以确定飞行器当前的绝对位置或相对位置的过程^[1]. 景象匹配是一种高精度的辅助导航技术, 由于其具有与航程无关、末制导精度极高、自主性强等优势, 在飞行器组合导航中有着广泛的应用.

在景象匹配中, 匹配区选取的好坏直接影响着

整个匹配系统的成败. 目前的景象匹配区选取, 主要靠人工. 但是, 当景象匹配数据量大时, 人工选取匹配区工作量大, 速度慢, 而且受操作人的知识水平、经验等主观因素的影响, 往往难以找出令人满意的匹配区. 国内外一些学者对匹配区的选取进行了一些有益的探索研究, 提出了运用灰度方差、能量、局部信息熵、相关曲面、稳定性等图像描述参量来选取匹配区^[2-6]. 但是, 这些方法往往是简单选取一个或几个图像描述参量来分析匹配区选取问题, 没有

收稿日期: 2006-03-30

作者简介: 江标初(1978-), 男, 福建龙岩人, 博士生. E-mail: 0410020079@mail.tongji.edu.cn

综合系统地考虑匹配区选取的全过程,所以导致了在某个景象上能很好地选取,而在不同图像特性景象上的选取就不能满足要求.笔者提出了由粗到细的层次景象匹配区选取准则,从选取的策略上系统分析了选取的要求:首先选出信息量足够多的匹配区,再从中筛选出信息量足够强的匹配区,最后利用唯一性的判断,排除匹配区相关面多峰值的情况,选出最佳匹配区.通过这样的逐层筛选,从而实现了匹配区选取的逻辑性和合理性.

1 匹配区的信息量

层次景象匹配区选取准则是从信息量、稳定性和唯一性来逐层分析的.首先,景象匹配区首先要有足够的信息才能够匹配定位,这是选取的粗要求,即基本要求.在景象匹配过程中,往往因为获取两个匹配图像的时间差异、位置差异、天气差异、季节变化、传感器类型不同、光线强弱、地物变异等因素,使得二者出现差异^[7-9],如果匹配区中没有稳定的地物,那么即使信息量大也可能匹配失败.所以,要求匹配区是稳定的.有了前面两个条件后,基准图和实时图的相关性就比较大了,但是,如果匹配的相关曲面存在多个相关峰值,也会极大影响最后的匹配结果.所以,选取过程中还要进一步分析唯一性.

选取中,信息量作为选取准则的第一层,用于判定匹配区是否符合景象匹配的基本要求.信息量的描述可以采用独立像元数、图像方差、信息熵、能量等计算方法,在实际运用中常常采用独立像元数,而且效果很好.例如,一个匹配区是一片沙漠或水面,其独立像元数为零,可以立即判为无效匹配区.独立像元数的计算如下:

$$N_x = P_x / L_x, \quad N_y = P_y / L_y, \quad N = N_x N_y \quad (1)$$

式中: P_x, P_y 分别是匹配区在横向和纵向的像元总数; N_x, N_y 表示匹配区在横向和纵向的独立像元数; N 表示匹配区的独立像元数; L_x 和 L_y 为匹配区在横向和纵向的相关长度,是根据两匹配影像间的相关系数求得的; x, y 表示横向与纵向位移.大量的实验表明,两影像的相关系数近似为指数型,而且是可分离的,即

$$\rho_{xy} = \exp\{-C_1|x|\} \cdot \exp\{-C_2|y|\} = \rho_x \rho_y \quad (2)$$

式中, C_1, C_2 表示与影像性质有关的常数.通常,有效相关长度 L_x, L_y 根据下式定义:

$$L_x = \int_0^{\infty} \exp(-C_1 x) dx = 1/C_1 \quad (3)$$

$$L_y = \int_0^{\infty} \exp(-C_2 y) dy = 1/C_2 \quad (4)$$

因此, $C_1 L_x = 1, C_2 L_y = 1$.

当 $x = L_x, y = L_y$ 时,有

$$\rho_x = \exp(-C_1|x|) = \exp(-C_2|y|) = \exp(-1) = 0.368 = \rho_y$$

所以,当对一影像在横向与纵向求自相关系数时,其自相关系数下降到 0.368.这时的影像在横向与纵向的位移 x 和 y 即等于 L_x, L_y .

2 匹配区的稳定性

经过第一层筛选后的匹配区的信息量是丰富的,但是,并不能保证就符合景象匹配的要求.例如,当匹配区里的地物都是细小的,由于实时成像传感器的成像质量往往较差,细小的地物被噪声平滑后,地物影像会变得模糊,甚至消失,最终导致匹配失败.所以,目标飞行器中存储的基准图中的匹配区必须具有稳定的特性.匹配区的稳定性是通过稳定地物特征提取和评价来确定的.

稳定地物的提取首先采用 Canny 边缘检测算子提取边缘.由于 Canny 边缘检测算子是通过测度信噪比与定位乘积而得到的最优化逼近算子,其提取的边缘所在位置灰度变化大,不稳定的地物较难提取边缘.Canny 边缘检测的操作如下:①用高斯滤波器平滑图像;②用一阶偏导的有限差分来计算梯度的幅值和方向;③对梯度幅值进行非极大值抑制(non-maxima suppression);④用双阈值算法检测和连接边缘.边缘提取后得到的边缘像素如果是分小段连续不闭合的,为了使边界封闭,需要将这些边缘像素连接起来.通常,梯度算子处理影像可得到两方面的信息:梯度的幅值和梯度的方向.根据边缘像素梯度在这两方面的相似性可把它们连接起来.具体来说,就是如果某像素 $f(s, t)$ 在像素 $f(x, y)$ 的邻域,且它们的梯度幅度和方向满足以下两个条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} |\nabla f(x, y) - \nabla f(s, t)| \leq T \\ |\varphi(x, y) - \varphi(s, t)| \leq A \end{array} \right. \quad (5)$$

式中: T 是幅度阈值; A 是角度(梯度方向)阈值.这样,就可将在 (s, t) 的像素与在 (x, y) 的像素连接起来.对所有边缘的像素都进行这样的判断和连接,就可以得到闭合的边界.

边缘提出后就可以分割出稳定地物,从而评价其稳定性.为此,把分割出的稳定区域像素灰度值都赋 1,其他非稳定区域的像素灰度值赋 0.稳定性的

评价用稳定强度来衡量. 稳定强度定义^[10]如下:

$$A_k = \sum f(x, y) \otimes E \tag{6}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \vdots & & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$n_k = \begin{cases} A_k & A_k > 50, S_k = r_i / r_c > 0.08 \\ 0 & \text{其他状况} \end{cases} \tag{8}$$

$$n = \sum n_k \tag{9}$$

式中: $f(x, y)$ 为分割出来赋值后的稳定地物的灰度值; E 为可覆盖第 k 稳定地物的矩阵; \otimes 代表卷积运算; S_k 为球状性^[11]; r_i 代表稳定地物区域内切圆的半径; r_c 代表区域外接圆的半径(两个圆的圆心都在区域的重心上); n 为稳定强度, 反映了匹配区的稳定性, n 越大, 匹配区的稳定性越强.

3 匹配区的唯一性

经过前面两层的筛选, 匹配成功率会比较高, 但是, 如果匹配区内有两个或多个相似地物, 还是可能导致匹配的误差, 所以, 还需要考虑地物的唯一性. 可以通过相关面来分析唯一性. 相关面是根据两匹配图像每一位置的相似性测度按照扫描的位置排列, 形成的一个二维曲面. 相关曲面的定义为: 先在预选基准图 X 中任一位置截取与实时图大小相同的基准子图 Y , 然后计算基准子图与预选基准图中任一位置为 (x, y) 的归一化积相关^[1], 即

$$N_{\text{Prod}} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (X - \bar{x})^2 \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (Y - \bar{y})^2}} \tag{10}$$

相关面一般会呈现高低起伏分布, 其中, 局部最大值区域称为相关峰, 相关峰中的最高峰值称为最高峰, 以下的依次称为次高峰. 如果多个次高峰与最高峰差别较小, 则说明在基准图匹配区中存在多个区域与子基准图相似, 这就降低了匹配定位的可靠性, 匹配失败的可能会增大. 这样的匹配区不具有匹配的唯一性. 评估匹配区的唯一性可利用最高峰尖锐度(E_{pc})、最高峰 8 邻域峰值比($\text{Ngb}^8\text{Max Ratio}$)、主次峰之比(PSR)等参数^[9]. 其中, 最高峰尖锐度比较有实用价值. 其定义为

$$E_{\text{pc}} = \frac{V_{\text{circle}}}{V_{\text{loop}}} \tag{11}$$

其中: V_{circle} 为圆形区域最高峰均值; V_{loop} 为环形区

域最高峰均值. 最高峰尖锐度在相关峰近似为圆形区域时, 能很好地判断匹配区的唯一性; 但是, 当相关峰为细长条区域时, 其评估效果就很差了. 本文定义了广义最高峰尖锐度 E_{epc} , 能很好地解决这个问题. 其定义为

$$E_{\text{epc}} = \frac{V_{\text{peak}}}{V_{\text{center}}} \tag{12}$$

其中: V_{peak} 为最高峰峰值; V_{center} 为相关峰在一定范围区域的平均值, 这个区域是以最高峰为中心的圆形或矩形区域, 如果相关峰形状接近圆形, V_{center} 则取圆形区域平均值, 反之, V_{center} 取矩形区域平均值. 经过改进的 E_{epc} 在数据的选取方面有较大灵活性, 避免了 E_{pc} 只能选取圆形区域数据的缺点.

4 试验与结论

本文运用层次景象匹配区选取准则选取匹配区, 在 Visual C++ 6.0 下做了大量匹配试验, 结果表明: 一个符合匹配要求的匹配区的独立像元数应大于 10, 稳定强度应大于 200, 广义最高峰尖锐度应大于 1.45^[10]. 表 1 为三个地区景象的匹配试验, 基准图是 500×500 像素的合成孔径雷达图像, 需要选取大小为 320×320 像素的最佳匹配区, 用来与对应的实孔径雷达实时图匹配. 匹配算法采用归一化积相关, 允许匹配误差 4 个像素. 表中, “基准图 3” 的地物差别较大.

表 1 匹配区选取计算结果
Tab. 1 Results of selection of match areas

基准图	匹配区	N	n	E_{epc}	匹配误差/像素	匹配结果
基准图 1	1	27	616	1.59	2.24	成功
	2	26	357	1.40	32.89	失败
	3	25	319	1.49	1.41	成功
	4	15	152	1.53	8.06	失败
基准图 2	5	31	952	1.72	1.00	成功
	6	28	568	1.70	3.16	成功
	7	5	38	1.55	15.30	失败
	8	20	418	1.61	3.16	成功
基准图 3	9	28	721	1.65	2.24	成功
	10	29	702	1.67	2.24	成功
	11	30	168	1.38	8.06	失败
	12	31	675	1.59	3.16	成功

由表 1 可看出, 基准图 1 选取的 4 个匹配区中, 1, 3 区满足选取准则的要求, 是可选取的匹配区, 得到了正确的匹配结果; 2 区由于 $E_{\text{pec}} < 1.45$ (所以这个匹配区应舍弃), 相关面存在多峰值, 不具备唯一

性,匹配失败;4 区由于匹配稳定强度 n 没有到达选取要求,也产生较大的匹配误差,不能满足选取要求,应该舍弃.同理,在基准图 2 区选取的 4 个匹配区中,7 区由于信息量少,计算得出的独立像元数很小,也没有满足选取准则要求,匹配失败.在基准图 3 的 4 个匹配区中,由于地物差别较大,所以信息量较丰富,但 11 区由于 $E_{pec} < 1.45$,导致匹配失败.

综上所述,这种由粗到细、逐层严格筛选的景象匹配区选取准则,从总体和细节上都对匹配区的选取提出了要求,使得匹配区有足够多的信息量,有足够强的图像稳定性,并且排除了匹配区相关面多峰值的情况,从而满足了匹配区的选取.

参考文献:

[1] 陈鹰. 遥感影像的数字摄影测量[M]. 上海:同济大学出版社, 2004.
CHEN Ying. Digital photogrammetry for remote sensing image [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2004.
[2] Ralph J F , Sims S W. Scene-referenced object localization[J]. Proceeding SPIE, 2004, 5429(1):20.
[3] Amir Amihoud, Cole Richard, Hariharan Ramesh. Overlap

matching[J]. Information and Computation , 2003, 181(1):57.
[4] Belsher J F, Williams H F. Match quality estimation for feature-based scene matching[J]. Proceeding IEEE, 1980, 238(1):206.
[5] EShamim A, Robinson J A. Region-based motion estimation in image sequences[J]. Proceeding IEEE, 2000(1):317.
[6] 付文兴, 王建民, 金善良. 一种实用的景象匹配区选择方法[J]. 宇航学报, 2003, 24(4):2.
FU Wenxing, WANG Jianmin, JIN Shanliang. A practical method for selecting sence matching area[J]. Journal of Astro-nautics, 2003, 24(4):2.
[7] Lisa Gottesfeld. Survey of image registration techniques [J]. Computing Surveys, 1992, 24(4):320.
[8] YANG Xin. Approach to estimation of matching probability[J]. Infrared and Laser Engineering , 2003, 3(32):231.
[9] Gray R T. Quantitative evaluation of rank-order similarity of im-ages[C]// Vancouveh; Seventy International Conference on Im-age Processing, 2000:485—488.
[10] 陈映鹰, 江标初. 图像匹配评估研究[M]. 上海:同济大学出版社, 2006.
CHEN Yingying, JIANG Biaochu. The research on the evalua-tion of image matching[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2006.
[11] 孙即祥. 图像分析[M]. 北京:科学出版社, 2005.
SUN Jixiang. Image process[M]. Beijing: Science Press, 2005.

(编辑:陶文文)

•下期文章摘要预报•

丁坝防护沿河公路路基的合理形式分析

朱方海, 林小平, 赵鸿铎

不同类型的丁坝对沿河公路路基的防护效果不同. 应用大型流场分析软件 FLU-ENT, 采用现代三维运动界面追踪技术 VOF (volume of fluid) 方法和标准 $k-\epsilon$ 模型耦合求解, 对三种不同类型丁坝的绕流流场进行了分析比较, 指出漫水丁坝和透水丁坝是较为合理的丁坝形式, 从而为丁坝的设计和建造提供了理论分析的基础.

城市交通影响分析中阈值确定方法研究

蔡晓禹, 杜豫川, 孙立军

针对目前城市建设项目交通影响分析阈值单一、未考虑道路交通状况差异性的问题, 基于城市道路等效通行能力和密度比评价方法, 提出了充分考虑道路不同交通状况的交通影响分析阈值计算方法. 根据密度比评分标准, 将城市道路交通状况划分为若干等级, 对各等级道路提出了相应的建设项目交通影响分析出行阈值, 同时在出行调查的基础上, 提出了上海市高层住宅公寓 (10~25 层) 的交通影响分析规模阈值.