

基于小波变换和遗传算法的遥感影像匹配方法的研究

徐建斌 洪文 吴一戎

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

摘要: 该文提出了利用小波分析和遗传算法实现遥感影像的匹配,在对参考影像和目标影像进行小波分解的基础上,利用遗传算法优良的全局寻优特点先对低分辨率的遥感影像进行匹配操作,然后逐级上推,最终实现全分辨率情况下的遥感影像的匹配。实验结果表明,该算法不仅具有较高的匹配精度,而且具有较高的效率。

关键词: 小波变换, 遗传算法, 影像匹配

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)02-0283-03

The Study of Remote Sensing Images Matching Method Based on Wavelet Transform and Genetic Algorithms

Xu Jian-bin Hong Wen Wu Yi-rong

(Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract In this paper, a matching method based on wavelet transform and genetic algorithms is proposed. First, the reference images and target images are decomposed to low resolution images using wavelet transform. Then, genetic algorithms, which are useful in finding global optima, are used to match the lowest resolution images. Based on the matching result, the matching between the higher resolution images can be implemented stepwise up to the full resolution images. The results confirm the proposed algorithm can improve the efficiency greatly while guarantee the accuracy.

Key words Wavelet transform, Genetic algorithms(GA), Image matching

1 引言

影像匹配技术是图像处理中的一个重要课题,在目标识别,医学图像处理,时间序列图像压缩中的运动补偿等领域有广泛的应用。在遥感图像处理方面,影像匹配技术可以用于遥感影像定位,遥感影像的配准等。

图像的模板匹配算法是影像匹配技术中一种广泛采用的算法。它的缺点是运算量大,效率较低。很多学者提出了相应的改进算法以提高模板匹配算法的效率。这些改进的算法基本上可以分为两大类^[1]:第一类是通过缩小搜索空间来提高搜索效率,例如图像的金字塔分解或小波分解等方法^[2, 3];第二类方法是通过采用各种数学优化算法进行匹配操作,例如 Sharma 和 Pavel 等人将 Gauss-Newton 算法应用于影像相关处理^[4], Starink 等人采用模拟退火算法进行影像匹配操作^[5], Sawhney 等人则利用 Levenberg-Marquart(LM)算法进行影像的相关匹配^[6]。这些算法在一定程度上都提高了匹配操作的运算效率。

小波变换具有天然的多尺度性,基于小波的多分辨率匹配在低分辨率的情况下可以保留大部分原始图像的重要特征信息,而且增强某些特征信息^[7]。利用小波变换先在较低分辨率的图像上进行影像匹配操作,然后对低分辨率下得到的匹配结果在高分辨率下进一步匹配,这种由粗到精的匹配方法可以大幅度地提高匹配效率。

作为一种有效而实用的优化算法,遗传算法在很多方面

得到了应用。在图像处理方面, Chalermwat, El-Ghazawi 等人将遗传算法应用于图像的配准^[8], Brumby, Theiler 等人利用遗传算法进行图像的特征提取^[9], Mitra 和 Murthy 等人利用遗传算法进行图像压缩^[10],从他们的实验结果来看,遗传算法在图像处理方面具有很好的优化效果。

本文结合小波分解和遗传算法来实现遥感影像的匹配定位,首先对参考影像和目标影像进行小波分解,对分解后的影像利用遗传算法进行匹配操作,进而在较高分辨率的情况下作进一步匹配。实验表明这种方法在保证一定的匹配精度的情况下,能够大幅度地提高匹配定位的效率。

2 算法的基本原理

2.1 小波变换的基本原理

小波变换是 80 年代后期发展起来的应用数学分支,与傅里叶变换相似,小波变换是一种同时具有时频二维分辨率的变换。小波变换具有良好的分析局部的时间区域与频率区域的信号,弥补了傅里叶转换中的损失。Harr 于 1910 年构造了第一个正交小波基,但 Harr 小波基是不连续的。到 80 年代, Meyer、Daubechies 等人从尺度函数的角度出发构造出了连续正交小波基。1989 年, Mallat 等人在前人大量工作的基础上提出多尺度分析的概念和基于多尺度分析的小波基构造方法,将小波正交基的构造纳入统一的框架之中,使小波分析成为一种实用的信号分析工具^[7, 11]。根据 Mallat 的塔式分解算法,图像经过小波变换后被分割成 4 个频带:水

平、垂直、对角线和低频, 低频部分可继续进行分解。图1是一个基于DB9小波基, 利用Mallat算法分解的Spot5原始影像:

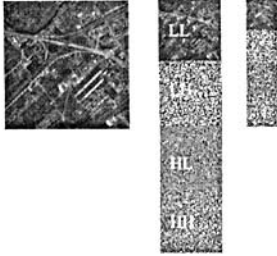


图1 二极小波分解的Spot5遥感影像

2.2 遗传算法的基本原理

遗传算法(GA)是一类借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机化搜索算法, 1975年由密歇根大学的Holland教授提出^[12], 其主要特点是群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换, 搜索不依赖于梯度信息。遗传算法使用所谓的遗传算子(Genetic Operators, GO)作用于群体 $P(t)$ 中, 进行下述遗传操作, 从而得到新一代群体 $P(t+1)$ 。

(1) 选择(selection): 根据各个个体的适应度, 按照一定的规则或方法, 从第 t 代群体 $P(t)$ 中选择出一些优良的个体遗传到下一代群体 $P(t+1)$ 中。

(2) 交叉(crossover): 将群体 $P(t)$ 内的各个个体随机搭配成对, 对每一对个体, 以某个概率(称为交叉概率, crossover rate)交换它们之间的部分染色体。

(3) 变异(mutation): 对群体 $P(t)$ 中的每一个个体, 以某一概率(称为变异概率, mutation rate)改变某一个或某一些基因坐上的基因值为其它的等位基因。

3 算法的实现

3.1 算法实现流程

算法实现时, 首先同时对参考影像和目标影像进行小波分解, 一般来说, 分解后的目标影像不宜太小, 否则图像所包含的信息量太少, 匹配误差增大, 低分辨率图像的微小的匹配误差会对高分辨率图像匹配结果带来很大的影响, 在较低分辨率的影像匹配完成后, 根据匹配结果在较高分辨率的图像上寻找较低分辨率的匹配结果, 整个算法实现如图2所示。

3.2 遗传算法的编码

基于小波分解的遗传算法的编码是一个动态编码。根据小波分解的级数, 需要采取相应的编码位数。假如参考影像的大小为 320×320 , 目标影像的大小为 64×64 时, 如果采用二级小波分解, 则分解后的参考影像大小为 80×80 , 目标影像大小为 16×16 。此时, 在一个像素误差情况下, X, Y 轴量化位数为6位即可; 如果三级分解, 则只需5位即可。以此类推, 一般分解后最低一级的目标影像的大小不应小于 32×32 , 否则就会影响到匹配的精度, 因此, 本文采取 X, Y 轴最低6位编码。根据上述描述, 本文选取以下的编码方案(示于图3):

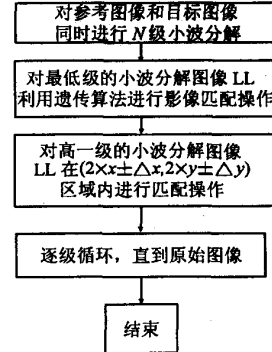


图2 算法实现框图

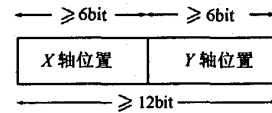


图3

3.3 遗传算法选取的适应度函数

影像匹配过程中需要采用合适的个体评价函数作为适应度函数。所谓的个体评价函数就是两幅图像的相似性度量。影像之间的相似性有很多种度量标准^[1], 例如相关, 归一化相关, 统计相关, 匹配滤波等。文献^[13]对这几种相似性度量进行了研究, 结果表明归一化相关是最优的一种相似性度量测度之一。归一化相关函数可以描述如下:

$$s(x, y) = \frac{\sum_{y=0}^{h-1} \sum_{x=0}^{w-1} [T(x', y') I(x+x', y+y')]^2}{\sqrt{\sum_{y=0}^{h-1} \sum_{x=0}^{w-1} T(x', y')^2 \sum_{y=0}^{h-1} \sum_{x=0}^{w-1} I(x+x', y+y')^2}} \quad (1)$$

其中 $I(x, y)$ 代表参考图像像素 (x, y) 处的值, $T(x, y)$ 代表模板图像像素 (x, y) 处的值。 (x', y') 代表像素点。

3.4 遗传算法的选择机制

从群体中选择优胜的个体, 淘汰劣质个体的操作叫选择。其中最基本也是最常用的选择方法是适应度比例方法, 也叫赌轮或蒙特卡罗(Monte Carlo)选择。本文采用适应度比例与最佳个体保存相结合的选择机制。适应度比例选择方法可以描述如下:

设群体大小为 n , 其中个体 i 的适应度值为 f_i , 按照适应度比例方法个体 i 被选择的概率 P_{si} 为

$$P_{si} = f_i / \sum_{i=1}^n f_i \quad (2)$$

3.5 自适应调整交叉概率和变异概率

交叉概率和变异概率的自适应调整一方面是为了保证个体的多样性, 防止过早收敛, 另一方面也是为了防止算法过渡发散, 进入随机搜索状态, 用gdm作为衡量每代群体中个体多样性的量度, gdm定义为

$$\text{gdm} = \bar{f} / f_{\max} \quad (3)$$

gdm值越大, 则个体越集中, 个体的多样性越小, 需要适当

增加变异概率而减小交叉概率来增加个体的多样性以防止遗传算法收敛于局部最优; 反之, 当 gdm 越小, 则个体多样性越多, 此时就适当减小变异概率而增加交叉概率。

本文采用图4所示的算法实现交叉概率和变异概率的自适应调整。其中 P_c 代表交叉概率, P_m 代表变异概率, V_{max} , V_{min} 为 gdm 的阈值, 文中分别取 0.9 和 0.1。

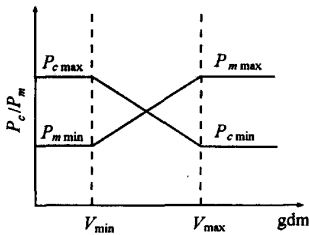


图4 自适应调整遗传和变异概率

4 实验结果

实验选取了两组遥感影像, 第一组为 Spot5 影像, 分辨率为 5m, 选取参考影像的大小为 1280×1280, 目标影像的大小 256×256; 第二组为 Spot3 影像, 分辨率为 20m, 选取参考影像大小亦为 1280×1280, 目标影像大小为 256×256, 参考影像和目标影像如图 5 和图 6 所示。实验是在 VC+Opencv 环境下完成的, 实验结果如图 7 和表 1 所示。

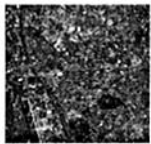


图5 Spot5 参考图像和目标图像

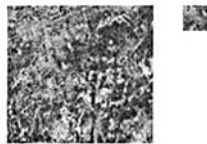


图6 Spot3 参考图像和目标图像

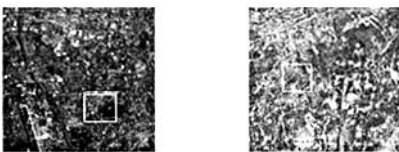


图7 匹配结果

表1 实验结果

		匹配位置	匹配时间(ms)
Spot5	未分解	(688,767)	8094
	一级分解	(688,768)	908
	二级分解	(688,768)	297
Spot3	未分解	(287, 468)	10272
	一级分解	(288, 468)	1010
	二级分解	(284, 468)	302

从上面的实验结果可以看出, 基于小波分解的遥感影像匹配定位不仅可以满足一定的匹配精度, 而且可以大幅度地减少运算量, 具有较强的实用性。

5 结论和进一步的工作

本文研究了遥感影像匹配处理中小波分解和遗传算法的应用, 实验结果表明基于小波分解和遗传算法的匹配算法不仅可以满足匹配精度要求, 而且具有较高的效率。下一步的工作, 一方面可以考虑遥感影像的其它几种变形, 例如旋转, 缩放, 扭曲等形变, 在仿射变换的基础上, 采用小波分解和遗传算法进行影像的匹配。另一方面, 本论文没有考虑多传感器图像之间的匹配, 这也是今后需要进一步研究的问题。

参考文献

- [1] Brown L G. A survey of image registration techniques. *ACM Computing Surveys*, 1992, 24(4): 325 - 376.
- [2] Huttenlocher D P, Klanderman G A, Rucklidge W J. Comparing images using the Hausdorff distance. *Trans. on PAMI*, 1993, 15(9): 850 - 863.
- [3] Thevenaz P, Unser M. A pyramid approach to sub-pixel image fusion based on mutual information, Proc. IEEE Int'l. Conf. on Image Processing, ICIP'96, Lausanne, Switzerland, 1996: 265 - 268.
- [4] Sharma R K, Pavel M. Multisensor image registration. *Proc. Society for Information Display*, 1997, vol. XXVIII: 951 - 954.
- [5] Starink J P P, Baker E. Finding point correspondence using simulated annealing, *Pattern Recognition*, 1995, 28(2):231 - 240.
- [6] Sawhney H S, Kumar R, True multi-image alignment and its applications to mosaicing and lens distortion correction. *IEEE Trans. on PAMI*, 1999, 21(3): 235 - 243.
- [7] Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation[J]. *IEEE Trans. on PAMI*, 1989, 11(7): 674 - 693.
- [8] Chalermwat P, El-Ghazawi T, Le Moigne J. Two-phase genetic algorithm-based image registration on parallel clusters. *Journal of Future Generation Computing Systems*, 2001, 17: 467 - 476.
- [9] Brumby S, Theiler J, Perkins S, et al.. Investigation of feature extraction by a genetic algorithm, 1999, Proc. SPIE, 3812: 24 - 31.
- [10] Mitra S K, Murthy C A, Kundu M K. Technique for fractal image compression using genetic algorithm. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1998, 7(4): 586 - 593.
- [11] Mallat S, Zhong Sifen. Characterization of signals from multiscale edges[J]. *IEEE Trans. on PAMI*, 1992, 14(7): 710 - 732.
- [12] Holland J H. *Adaptation in Natural and Artificial System*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975: 30 - 58.
- [13] Pratt W K. *Correlation Techniques of Image Registration*. *IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems*, 1974, AES-10(3): 353 - 358.

徐建斌: 男, 1970年生, 博士生, 主要研究方向为光学遥感影像处理, SAR 成像算法等。

洪文: 女, 1968年生, 研究员, 主要研究方向为遥感影像处理, SAR 成像算法等。

吴一戎: 男, 1963年生, 研究员, 主要研究方向为遥感影像处理、SAR 成像算法、遥感地面应用处理系统、并行处理等。