

## 一种基于距离变换和遗传算法的遥感图像匹配算法

徐建斌 洪文 吴一戎

(中国科学院电子学研究所 北京 100083)

**摘要:** 该文提出了一种基于距离变换和遗传算法的遥感图像匹配算法。先对参考图像和目标图像进行直方图处理, 以克服不同光照条件下带来的匹配误差, 在此基础上对参考图像和目标图像进行距离变换。最后利用遗传算法对距离变换后的图像进行匹配操作。实验结果表明, 该算法不仅能满足一定的匹配精度, 而且具有较高的匹配效率。

**关键词:** 图像匹配, 直方图均衡, 距离变换, 遗传算法

**中图分类号:** TP751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2005)07-1009-04

## A Remote Sensing Image Matching Algorithm Based on Distance Transformation 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 remote sensing image matching algorithm based on distance transformation and genetic algorithms is proposed. Firstly, the reference images and target images are processed using histogram equalization to overcome different brightness of them. Secondly, distance transformation is implemented on the images after histogram equalization. Lastly, genetic algorithms are used to match the distance images. The experimental results confirm the proposed algorithm can improve the efficiency greatly while guarantee the accuracy.

**Key words** Image match, Histogram equalization, Distance transformation, Genetic algorithms

### 1 引言

图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, 匹配技术可以应用于遥感影像定位, 遥感影像的配准等。

图像匹配的一个关键问题是如何提高图像匹配的效率, 很多学者在这方面进行了相关研究并提出了许多有效的算法以提高图像匹配的效率。这些算法基本上可以分为两大类<sup>[1]</sup>: 第一类是通过缩小搜索空间来提高搜索效率, 包括图像的特征提取以及图像的金字塔分解或小波分解等方法; 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 Gauss-Newton 算法、模拟退火算法、Levenberg-Marquart(LM) 算法等。本文将这两类算法进行结合, 提出了一种在对图像进行距离变换的基础上, 利用遗传算法实现图像匹配的高效算法。

自从 Rosenfeld 和 Pfaltz<sup>[2]</sup>于 1966 年首次提出了距离变换以来, 距离变换就被广泛地应用于图像处理和模式识别领域。人们利用它实现目标细化、骨架抽取、形状的插值和匹配<sup>[3,4]</sup>。原始图像经过二值化和距离变换得到的距离图像包含了图像的一些几何信息。这是实现图像间匹配的基础。

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, Ghazawi 等人将遗传算法应用于图像的配准<sup>[5]</sup>; Brumby, Theiler 等人利用遗传算法进行图像的特征提取<sup>[6]</sup>; Mitra 和 Murthy 等人利用遗传算法进行图像压缩<sup>[7]</sup>。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。

本文首先对参考影像和目标影像进行直方图均衡处理, 以克服不同光照条件下带来的匹配误差, 在此基础上同时对参考影像和目标影像进行距离变换, 对变换后的图像利用遗传算法进行匹配操作。实验表明这种方法能克服不同光照所带来的匹配误差, 在保证一定的匹配精度的情况下, 可以提高匹配定位的效率, 而且具有较强的鲁棒性。

### 2 算法的基本原理

#### 2.1 距离变换

设二值图像  $I$  包含两种元素, 物体  $o$  和背景  $o'$ , 距离图为  $D$ , 则距离变换定义为

$$D(p) = \min\{\text{dist}(p, q), q \in o\} \quad (1)$$

其中  $p, q$  为图像的像素点,  $\text{dist}(\cdot)$  为距离测度函数, 常见的距离测度函数有切削距离, 街区距离和欧氏距离。其中切削距离和街区距离是欧氏距离的一种近似。

欧氏距离变换定义为

$$D[(x_1, y_1), (x_2, y_2)] = [(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2]^{1/2} \quad (2)$$

实际中由于欧氏距离的计算量较大,应用受到限制。在精度要求不是很高的情况下,近似欧氏距离由于具有较高的计算效率而得到广泛应用。例如街区距离仅计算垂直和水平路径,它得到的是近似欧氏距离。Borgefors提出了含有两次扫描的串行算法<sup>[8,9]</sup>,该算法通过使算法产生的距离与欧氏距离的差值最小作为优化标准,来设计局部操作器(可以看成是一种滤波器)中的参数。文献[10]又对上述方法做了改进,它以平均差值最小作为优化目标,更好地逼近了欧氏距离。通常,只使用 $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ 或 $7 \times 7$ 的局部操作器。在距离变换过程中,在图像上移动局部操作器,更新所扫描像素的距离值,由于这个过程很象车刀切削机械零件的过程,故而得名“切削(chamfer)”。虽然局部操作器越大,由它产生的距离就越接近欧氏距离,但是计算量也随之呈指数级增长。文献[8,9]对几种局部操作器进行了比较,认为采用 $5 \times 5$ 的局部操作器可以在精度和效率上达到较好的优化。本文采用的就是 $5 \times 5$ 局部操作器的切削距离实现图像的距离变换。

### 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<sup>[11]</sup>,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)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 算法实现步骤

### 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直方图均衡处理,其目的是为了消除不同亮度条件下对匹配结果的影响。完成直方图均衡处理后,同时对目标影像和参考影像进行二值化。本文采用的是自适应阈值分割算法完成二值化处理。下一步对二值化后的图像进行距离变换。最后,对

距离变换后的图像按照遗传算法的流程进行匹配操作,整个算法实现如图1所示。

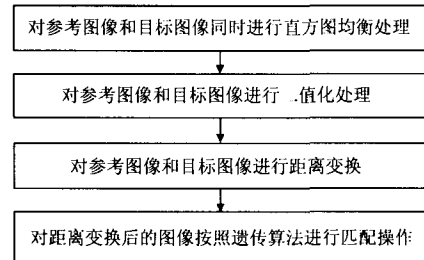


图1 算法实现框图

### 3.2 自然数编码

将问题的可行解从解空间转换到遗传算法编码空间的过程就称为编码,编码是应用遗传算法时要解决的首要问题,也是设计遗传算法的一个关键步骤。编码方法除了决定个体的染色体排列形式外,还决定了个体从搜索空间的基因型变换到解空间的表现型时的解码方法,同时也影响到交叉和变异操作。传统的遗传算法的编码方式为二进制编码,即遗传空间的个体(individual)或染色体(chromosome)通常由二进制串来表示。在图像相关匹配应用中,采用二进制编码存在以下缺点:(1)不同图像尺寸不同,因此若采用二进制编码则编码的位数不可事先确定,编码位数取决于参考图像和目标图像的大小,当其中之一变化时,需要修改程序中染色体编码位数以适应不同大小的搜索空间。(2)二进制交叉和变异后有可能会产生无对应可行解的个体,这些个体经解码处理后所表示的解为无效解。

由于图像相关匹配是欲求出目标所在的位置坐标 $(i, j)$ ,  $i, j$ 均为自然数,因此本文采用自然数编码方法。编码方案如下:

X轴位置( $i$ )	Y轴位置( $j$ )
-------------	-------------

### 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,例如相关,归一化相关,统计相关,匹配滤波等。文献[12]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:

$$s(x, y) = \frac{\sum_{y'=0}^{h-1} \sum_{x'=0}^{w-1} T(x', y') I(x+x', y+y')}{\sqrt{\sum_{y'=0}^{h-1} \sum_{x'=0}^{w-1} T(x', y')^2 \sum_{y'=0}^{h-1} \sum_{x'=0}^{w-1} I(x+x', y+y')^2}} \quad (3)$$

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; $(x', y')$ 代表像素点坐标。本处的

参考图像和目标图像都是指距离变换后的图像，由于距离变换后的图像有许多0元素，实际上是一个稀疏矩阵，我们做相关运算的时候，对于这些0元素值可以不作处理，只对非零像素值进行相关处理。因此，对于距离变换后的图像进行相关运算可以降低运算量，同时，由于距离变换后的图像能够克服几何失真和边缘变化的影响，还具有抗灰度反转能力，因此对距离变换后的图像进行相关匹配，在保证匹配精度的条件下，可以提高匹配的效率。

#### 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

$$P_{si} = f_i / \sum_{i=1}^n f_i \quad (4)$$

#### 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度发散，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

$$gdm = \bar{f} / f_{\max} \quad (5)$$

其中  $\bar{f}$  为当前代的适应度平均值， $f_{\max}$  为当前代的最大适应值， $gdm$  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， $gdm$  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2所示的算法实现交叉概率和变异概率的自适应调整：

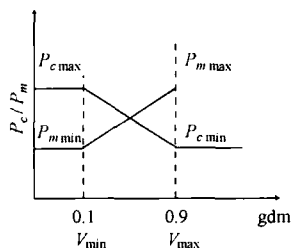


图2 自适应调整遗传和变异概率

其中  $P_c$  代表交叉概率， $P_m$  代表变异概率， $V_{\max}$ ， $V_{\min}$  为  $gdm$  的门限值，文中分别取 0.9 和 0.1。

#### 3.6 遗传算法的停机准则

遗传算法的停机准则就是遗传算法的终止条件，即满足什么条件时结束循环。常见的停机准则有：(1) 基于遗传代数的停机准则，即当遗传代数超过预先设定的代数，则停止

循环。(2) 基于适应度的停机准则，即当当前代的适应度函数相同或者变化很小时，则停止循环。(3) 基于收敛性的停机准则，即当当前代的收敛值与预先设定的前  $n$  代收敛值相同或变化很小时，则停止循环。本文采用一种混合的停机准则，首先根据适应度停机准则判断是否停机，同时设置一个最大遗传代数，其目的是为了防止遗传算法过度发散，这种停机法则实际上是在算法的时间和效率上的一个折中。本文采用的适应度停机准则满足下式：

$$\bar{f} / f_{\max} < \text{const} \quad (6)$$

其中  $\text{const}$  为常数，本文取  $\text{const} = 0.75$ 。

## 4 实验结果

实验是在 VC+OpenCv 环境下完成的。实验选取了两组遥感影像，每组遥感影像中，目标影像分别考虑了3组不同光照条件下的成像。实验中目标影像和参考影像具有相同的分辨率（对于分辨率不同的遥感影像的匹配，首先通过降采样或插值，以求得分辨率的匹配，本文对此不作进一步讨论）。两组参考影像和目标影像如图3所示：第一组为 Spot5 影像，分辨率为 5m，选取参考影像的大小为  $640 \times 640$ ，目标影像的大小  $150 \times 150$ ，选取3幅不同亮度情况下的目标影像；第二组为 Spot3 影像，分辨率为 20m，选取参考影像大小为  $800 \times 800$ ，目标影像大小为  $180 \times 180$ 。图4是对参考影像和目标影像进行直方图均衡后的结果。图5是距离变换后的图像，其中距离变换采用的是  $5 \times 5$  局部操作器的切削距离实现的。图6是匹配结果，为了直观起见，将匹配结果直接显示在原始图像上，图中给出的坐标为匹配位置左上角坐标。

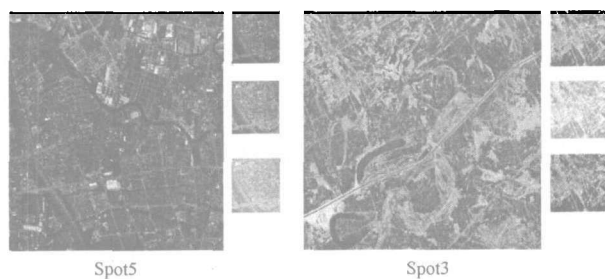


图3 实验选取的参考影像和目标影像

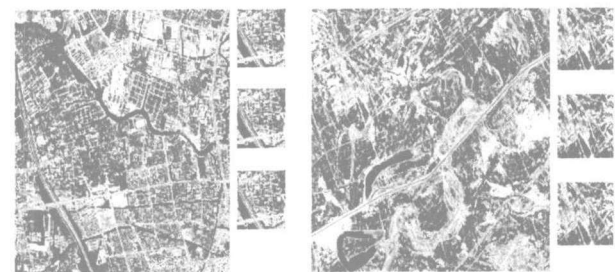


图4 直方图均衡后的参考影像和目标影像

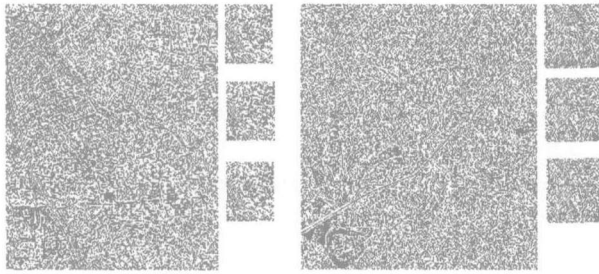


图5 距离变换后的参考影像和目标影像

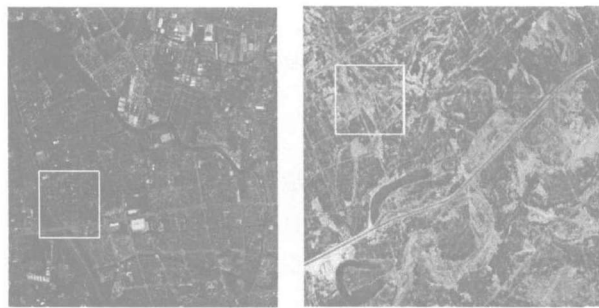


图6 匹配结果

下表是算法执行时间的比较:

表1 执行时间比较

	原始图像 匹配(ms)	距离变换后 的图像匹配(ms)	基于遗传算法和 距离变换的图像 匹配(ms)
Spot5	29796	16457	1802
Spot3	76859	46839	3023

## 5 结束语

本文提出了一种图像匹配的稳健算法,通过对参考影像和目标影像进行直方图均衡化可以克服不同光强对匹配结果的影响;同时匹配是针对距离变换后的图像进行的,一方面距离变换后的图像保留了原始图像的几何信息,能够克服几何失真和边缘变化的影响,保证了一定的匹配精度;另一方面对距离变换后的图像进行相关运算可以减少运算量,提高运算效率;在图像匹配的操作中,利用遗传算法进行全局寻优,极大地提高了算法的执行效率。实验表明,我们提出的基于距离变换和遗传算法的图像匹配算法是一种稳健的匹配算法,具有一定的实用性。

## 参考文献

- [1] Brown L G. A Survey of Image Registration Techniques. *ACM Computing Surveys*, 1992, 24(4): 325 – 376.
- [2] Rosenfeld A, Pfalz J L. Sequential operations in digital picture processing. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 1966, 13(4): 471 – 494.
- [3] Paglieroni D W. Distance transforms: Properties and machine vision application. *Computer Vision, Graphical models and Image Processing (CVGIP)*, 1992, 54(1): 56 – 74.
- [4] Shih F Y, Pu C C. A skeletonization algorithm by maxima tracking on Euclidean distance transform. *Pattern Recognition*, 1995, 28(3): 331 – 341.
- [5] 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(3): 467 – 476.
- [6] Brumby S, Theiler J, Perkins S, et al.. Investigation of feature extraction by a genetic algorithm, in Proc. 1999, SPIE 3812: 24 – 31.
- [7] 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.
- [8] Borgefors G. Distance transformation in arbitrary dimensions. *CVGIP*, 1984, 27(2): 321 – 345.
- [9] Borgefors G. Distance transformation in digital images. *CVGIP*, 1986, 34(3): 344 – 371.
- [10] Vossepoel A M. A note on distance transformation in digital images. *CVGIP*, 1988, 43(1): 88 – 97.
- [11] Holland J H. *Adaptation in Natural and Artificial System*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975: 30 – 58.
- [12] Pratt W K. Correlation Techniques of Image Registration. *IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems*, 1974, 10(3): 353 – 358.

- 徐建斌: 男, 1970年生, 博士生, 研究方向为遥感影像处理、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。