

一种改进的相位相关的影像配准方法

韦春桃^{1,2}, 吴平², 张祖勋¹, 张剑清¹

(1. 武汉大学 遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079)

2. 桂林理工大学 土木与建筑工程学院, 广西 桂林 541004)

An Image Matching Algorithm Based on Improved Log-polar Image Transform

WEI Chun tao, WU Ping, ZHANG Zuxun, ZHANG Jianqing

摘要: 提出一种改进的基于对数极坐标变换的相位相关算法, 该算法将分层匹配思想引入到匹配过程中, 使得改进后的算法在保证精度的同时可大大加快计算速度, 且与图像的大小无关, 从而提高算法的整体性能。

关键词: 对数极坐标变换; 相位相关; 影像配准

一、引言

相位配准中的相位相关法^[1-2]应用广泛。其中基于对数极坐标变换的相位相关法^[3]可以用来求解配准图像的尺度(缩放)和旋转参数。然而, 该方法存在着不能兼顾精度与运算速度的问题, 在提高精度的同时会导致运算速度的降低, 反之为了提高运算速度则必须降低精度^[4]。针对这一问题, 本文提出一种基于对数极坐标变换的改进算法, 先求出粗精度的参数值, 再利用迭代过程修正参数, 从而逐步地提高精度。改进算法在保证参数精度的同时大大地缩短了运算时间, 有效地解决了原始算法精度与运算速度二者不能兼顾的问题。

二、相位相关的基本原理

相位相关的依据是傅里叶平移定理, 信号在空间域上的平移产生频率域上成比例的相位平移, 相位相关最初是用来处理平移问题。假设有两幅图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$, 图像 $f_2(x, y)$ 是图像 $f_1(x, y)$ 经平移 (x_0, y_0) 后产生的, 即

$$f_2(x, y) = f_1(x - x_0, y - y_0) \quad (1)$$

根据傅里叶平移定理有

$$F_2(u, v) = F_1(u, v) e^{-j(ux_0 + vy_0)} \quad (2)$$

其中, $F_1(u, v)$ 和 $F_2(u, v)$ 分别为 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 的傅里叶变换。则频域中两图像的互功率谱为

$$\frac{F_1(u, v) F_2^*(u, v)}{|F_1(u, v) F_2^*(u, v)|} = e^{-j(ux_0 + vy_0)} \quad (3)$$

其中, $F_2^*(u, v)$ 为 $F_2(u, v)$ 的复共轭。相位相关

法^[1]就是求式(3)的傅里叶反变换, 得到相关函数。当两幅图像相关时, 相关函数为 δ 函数, 其峰值所对应的坐标即为平移参数 x_0 和 y_0 ; 而当两幅图像不相关时, 检测结果不会有明显的峰值。

三、基于对数极坐标变换的相位相关法

图像 $f(x, y)$ 至 $f(\rho, \theta)$ 的对数极坐标变换定义为

$$\rho = \ln \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (4)$$

$$\theta = \arctan \frac{y - y_0}{x - x_0} \quad (5)$$

式中, ρ 与 θ 分别对应极径和极角; (x_0, y_0) 为变换中心的坐标。

假设两幅图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 存在以 λ 为参数的尺度变换和旋转角度为 θ_0 的旋转变换, 则

$$f_2(x, y) = f_1(\lambda^{-1}(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0), \lambda^{-1}(-x \sin \theta_0 + y \cos \theta_0)) \quad (6)$$

经过对数极坐标变换后有

$$f_2(\ln \rho, \theta) = f_1(\ln \rho - \ln \lambda, \theta - \theta_0) \quad (7)$$

此时, 图像在笛卡儿坐标间的旋转、缩放关系已经转化为在对数极坐标上的平移关系, 在对数极坐标系利用相位相关法可直接求得 $\ln \lambda$ 和旋转角度 θ_0 , 可进一步获得缩放尺度 λ 。

四、基于对数极坐标变换改进的相位相关方法

本文算法全过程均在对数极坐标中进行。另外, 由于对数极坐标的极径轴和极角轴是正交不相

收稿日期: 2010-05-05

基金项目: 广西自然科学基金项目(桂科自 0728219)

作者简介: 韦春桃(1968—), 女, 广西宜州人, 博士生, 副教授, 主要研究方向为摄影测量与遥感。

关的,故可分别对两个参数求精,求精的顺序对最终结果没有影响。

首先选取较大的采样间隔求取初始的缩放和旋转参数。这里采样间隔的大小由映射图像的尺寸决定。映射图像即原始图像由笛卡儿坐标转换为对数极坐标后的图像。图像尺寸选得越大,采样间隔就越小,极径轴和极角轴的分辨率就越高;图像尺寸选得越小,采样间隔就越大,极径轴和极角轴的分辨率就越低。

在求得粗精度的两个参数值之后,即可对两个初始参数值分别求精。先在参考图像上选取一个矩形区域,矩形的中心与参考图像的中心重合。若对旋转值求精,则在极径轴方向上,区域的范围与上一层映射图像保持一致;在极角轴方向上,区域的范围为上一层映射图像的中心点及其周围区域。区域选定后,就将其对应的原始图像转换到新的映射图像上。同样将待配准图像的同名区域所对应的原始图像转换到新的映射图像上。对新获得的两幅映射图像再次利用相位相关法即可求出参数的误差修正值,将求出的误差修正值与初始值相加即可获得一次修正后的参数值。将以上过程进行迭代运算即可逐步提高角度值的精度。缩放值求精的过程与角度值类似,只是迭代过程中保持极角轴方向上的范围不变,同时逐层减少极径轴方向上的范围即可。

五、试验结果与分析

本试验在 Athlon 64 × 2 4400+、1 GB 内存、

WindowsXP操作系统环境下进行,使用 Matlab 2008 实现算法仿真试验。

第 1 组试验使用 3 组分辨率为 1 600 像素 × 1 600 像素的图像,如图 1 所示,第 1 行为参考图像,第 2 行为待配准图像。试验目的是对比改进后的算法与不同参数下的原始算法的精度和运算时间。其中,改进算法的参映射图像大小均取为 150 像素 × 150 像素。原始算法使用一般文献中常用的设置:映射图像极径轴方向尺寸的大小选择为原始图像尺寸的一半即 800 个像素;极角轴方向尺寸的大小依次选择 360 像素、720 像素和 1 600 像素,这样可获得极角轴上 3 个不同的分辨率,将其与改进算法进行比较,以对比原始算法和改进算法的优劣。因此,原始算法的映射图像大小依次取为 800 像素 × 360 像素、800 像素 × 720 像素、800 像素 × 1 800 像素,其极径轴的分辨率均为 $\frac{h}{800}$,极角轴的分辨率分别为 $\frac{2\pi}{360^\circ}$ 、 $\frac{2\pi}{720^\circ}$ 、 $\frac{2\pi}{1800^\circ}$,试验结果如表 1 所示。

从试验结果可以看出,改进后的方法在角度方向上的误差远低于 3 种分辨率的原始方法。说明改进的方法在角度方向上的检测精度很高。缩放参数的误差两种方法则都维持在 10^{-3} 数量级,这是因为原始方法在极径轴方向上的分辨率已经设置得很高,故两种方法的缩放参数检测精度相近。但可以看到改进后的方法在运算时间上均远快于原始方法。

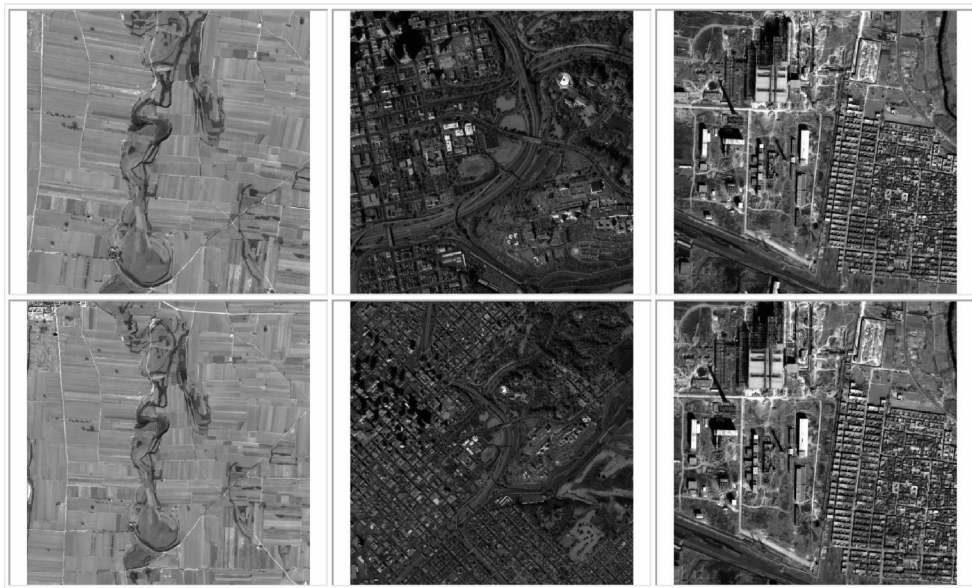


图 1 第 1 组试验图像

表1 第1组试验结果

| | | 第1组图像 | 第2组图像 | 第3组图像 |
|----------------------------|----------------------|------------|------------|------------|
| 真实参数 | 旋转角度 $/(^{\circ})$ | 5.1 | 32.7 | 0.9 |
| | 缩放倍数 | 1.253 | 1.88 | 0.914 |
| $\frac{2\pi}{360^{\circ}}$ | 旋转角度 $/(^{\circ})$ | 5 | 33 | 1 |
| | 旋转角度误差 $/(^{\circ})$ | 0.1 | 0.3 | 0.1 |
| | 缩放倍数 | 1.253 | 1.887 | 0.912 |
| | 缩放倍数误差 | 0.0001 | 0.007 | 0.0018 |
| | 耗时 /s | 29.402503 | 30.193478 | 30.127986 |
| | 旋转角度 $/(^{\circ})$ | 5 | 32.5 | 1 |
| | 旋转角度误差 $/(^{\circ})$ | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| | 缩放倍数 | 1.253 | 1.887 | 0.912 |
| | 缩放倍数误差 | 0.0001 | 0.007 | 0.0018 |
| | 耗时 /s | 57.656307 | 57.85756 | 58.24175 |
| $\frac{2\pi}{720^{\circ}}$ | 旋转角度 $/(^{\circ})$ | 5.2 | 32.8 | 0.8 |
| | 旋转角度误差 $/(^{\circ})$ | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| | 缩放倍数 | 1.253 | 1.887 | 0.912 |
| | 缩放倍数误差 | 0.0001 | 0.007 | 0.0018 |
| | 耗时 /s | 144.058558 | 146.006920 | 144.379974 |
| | 旋转角度 $/(^{\circ})$ | 5.0618 | 32.64 | 0.96 |
| | 旋转角度误差 $/(^{\circ})$ | 0.0382 | 0.06 | 0.06 |
| | 缩放倍数 | 1.2538 | 1.872 | 0.912 |
| | 缩放倍数误差 | 0.0008 | 0.0076 | 0.0024 |
| | 耗时 /s | 29.766607 | 23.156324 | 22.665315 |

另外从试验结果中还可以看到原始方法在极角轴方向上随着分辨率的提高,检测精度也随之提高,但是其运算时间也急剧增加。而一般文献中为了保证求解结果的精度,在极径轴上的分辨率都设置得很高,极角轴上的分辨率也设置得较高,这使得原始算法的运算效率大幅下降。

第2组试验使用同一地区的3组分辨率不同的图像,如图2所示,左图为参考图像,右为待配准图像。3组图像的内容相同而分辨率不同,依次为512像素 \times 512像素,1536像素 \times 1536像素,3072像素 \times 3072像素。试验目的是对比图像的大小是否会对改进方法与原始方法造成影响。改进方法使用的参数与第1组试验相同。为保证不同分辨率下的精度基本相同,原始方法的映射图像在极径轴方向上依次选择256像素、768像素和1536像素,极角轴方向上选择720像素。因此,原始方法的映射图像大小依次选为256像素 \times 720像素、768像素 \times 720像素、1536像素 \times 720像素,其极径轴的分辨率分别为 $\frac{\ln 256}{256}$ 、 $\frac{\ln 768}{768}$ 、 $\frac{\ln 1536}{1536}$,极角轴的分辨率均为 $\frac{2\pi}{720^{\circ}}$ 。试验结果如表2所示。



图2 第2组试验图像

从结果中可以看出,与原始方法的不同之处在于,在精度基本相同的情况下,图像的大小对改进方法的计算时间并不会会有太大的影响,而原始方法为保证大图像上极径轴的分辨率,窗口必须选取得比较大,因此受图像的大小影响很大,图像越大耗时越长。

六、结束语

针对目前基于对数极坐标变换的相位相关算法无法兼顾精度与运算时间的问题,本文提出一种基于对数极坐标变换的相位相关的改进算法,有效地解决了这个问题。仿真结果表明该方法在提高精度的同时也大大加快了计算速度,且与图像大小无关,从而提高了算法的整体性能,拓宽了算法的适用范围。

表 2 第 2组试验结果

| 图像大小 | | 512像素 × 512像素 | 1 536像素 × 1 536像素 | 3 072像素 × 3 072像素 |
|------|--------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 真实参数 | 旋转角度 / (°) | 8.7 | 8.7 | 8.7 |
| | 缩放倍数 | 0.82 | 0.82 | 0.82 |
| 原始方法 | 旋转角度 / (°) | 8.4375 | 8.5 | 8.5 |
| | 旋转角度误差 / (°) | 0.2625 | 0.2 | 0.2 |
| | 缩放倍数 | 0.8182 | 0.8182 | 0.8182 |
| | 缩放倍数误差 | 0.0018 | 0.0018 | 0.0018 |
| | 耗时 /s | 21.265240 | 58.298226 | 120.444264 |
| 改进方法 | 旋转角度 / (°) | 8.64 | 8.64 | 8.64 |
| | 旋转角度误差 / (°) | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| | 缩放倍数 | 0.8313 | 0.8235 | 0.8255 |
| | 缩放倍数误差 | 0.0113 | 0.0035 | 0.0035 |
| | 耗时 /s | 21.828195 | 25.236189 | 27.154365 |

参考文献:

- [1] KUGLİN C D, HINES D C. The Phase Correlation Image Alignment Method [C]// IEEE International Conference on Cybernetics and Society. New York, USA: [s.n.], 1975: 163-165.
- [2] 陈治, 朱洪程, 胡晓东, 等. 基于相位相关技术的 MEMS 旋转角度高分辨力测量 [J]. 光学精密工程, 2009, 17(8): 1884-1889.
- [3] 赵琰. 基于对数极坐标变换的图像匹配算法 [J]. 信息技术, 2008(9): 24-27.
- [4] 王志民, 徐晓刚. 基于单象限 Fourier Mellin 域相位相关的快速稳像算法 [J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(9): 1790-1795.

(上接第 16页)

路在灰度和纹理特征上与完好道路非常相似; ②道路上行驶的车辆在多尺度分割过程中未与道路分为一个影像对象, 致使在最邻近分类时出现了错分。因此如果能够保证道路分类的正确性, 该方法就能快速而准确地判断道路损毁的几何信息和属性信息。

五、结束语

本文利用面向对象方法对地震后高分辨率遥感影像进行自适应模板的多尺度分割和分类, 提出一种融合地震前道路网矢量数据与地震后遥感影像的道路损毁检测方法。试验证明, 该方法能够快速、准确地对损毁信息进行提取。如何有效地减小具有相似纹理和灰度特征的地物对道路分类产生的影响, 并对造成道路损毁的灾害体类型(坍塌、掩埋等)进行判读, 是今后值得继续研究的问题。

参考文献:

- [1] 韩用顺, 崔鹏, 朱颖彦, 等. 汶川地震危害道路交通及其遥感监测评估: 以都汶公路为例 [J]. 四川大学学

- 报: 工程科学版, 2009(3): 273-283.
- [2] 刘亚岚, 张勇, 任玉环, 等. 汶川地震公路损毁遥感监测评估与信息集成 [J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 933-940.
- [3] 史文中, 朱长青, 王昱. 从遥感影像提取道路特征的方法综述与展望 [J]. 测绘学报, 2001, 30(3): 257-262.
- [4] 胡进刚, 张晓东, 沈欣, 等. 一种面向对象的高分辨率影像道路提取方法 [J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(3): 184-188.
- [5] 李光耀, 胡阳. 高分辨率遥感影像道路提取技术与展望 [J]. 遥感信息, 2008(1): 91-95.
- [6] 陈世荣, 马海建, 范一大, 等. 基于高分辨率遥感影像的汶川地震道路损毁评估 [J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 949-954.
- [7] 肖志强, 鲍光淑, 黄继先. 融合 SAR 和 TM 图像更新 GIS 道路网络数据 [J]. 测绘学报, 2006, 35(1): 47-51.
- [8] 董明, 张海涛, 祝晓坤, 等. 基于遥感影像的地图道路网数据变化检测研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(2): 178-182.