

基于像素分解的圆形标志点亚像素定位研究

宿晓玮, 孙久运

(中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 影像中圆形标志点的定位对于数字摄影测量具有重要作用. 通过对圆形标志点边缘处的混合像素进行亚像素定位, 提取出标志点的亚像素级边缘, 再基于最小二乘原理进行椭圆拟合得到圆形标志的中心坐标. 运用三种实验表明, 与直接采用像素级边缘进行拟合定位相比, 该方法的精度明显提高.

关键词: 亚像素级边缘; 亚像素定位; 混合像素; 椭圆拟合

中图分类号: P232

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)03-0074-04

Study on Sub-pixel Location of Circle Target Based on Unmixing the Mixed Pixels

SU Xiao-wei, SUN Jiu-yun

(School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: The location of circle target in the image is very important to digital photogrammetry. Sub-pixel edge positions of the target are got by sub-pixel location in mixed pixels of the target edge. Then, the center position of the circle target are calculated by the least squares elliptical fitting. Three experiments prove that the precision of this location method is higher than the precision of traditional method that elliptical fitting with pixel edge.

Key words: sub-pixel edge; sub-pixel location; mixed pixels; elliptical fitting

1 引言

对图像中的目标进行高精度定位是数字图像处理领域中的一个研究热点^[1]. 对标志提取边缘后, 基于最小二乘原理进行椭圆拟合求取中心点的坐标是目前常用的方法. 其中标志边缘提取又分为像素级边缘提取^[2]和亚像素级边缘提取^[3-4]. 像素级边缘提取, 边缘点的取值是像素中心的坐标, 而亚像素级边缘提取, 边缘点的取值可以精确到像素的任何位置, 进一步提高了边缘位置的精度. 但通常的亚像素级边缘提取, 应用了复杂的边缘提取方法, 虽然能达到较高的精度, 但计算复杂. 本文提出了一种新的圆形标志中心定位算法, 首先利用边缘提取算子提取标志的像素级边缘, 然后根据边缘处的整像素的混合程度及其梯度方向将整像素进行分解, 确定整像素

内部的空间分布, 从而确定亚像素级的边缘, 最后基于最小二乘原理进行亚像素级边缘点椭圆拟合求得标志中心的坐标. 实验表明, 此方法计算简单、定位精度较高且运算速度较快.

2 基本原理

像素是数字图像的基本单位, 由于图像有一定的分辨率, 因此成像过程中每个像素都对应一定的空间区域. 在遥感图像中, 如果成像过程中像元只对应一种地物, 则是纯净像元, 如果成像过程中像元对应两种或多种地物, 则是混合像元^[5], 人们提出了多种混合像元分解模型进行混合像元分解, 提高了分类精度. 同样对于数字摄影测量影像中的圆形标志点, 其边缘像素是标志与背景两种信息的混合, 考虑到这种特性, 本文首先将遥感图像中混合像元分解

收稿日期: 2013-06-20; 修回日期: 2013-08-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171343)

的思想引入到圆形标志的定位中,获得边缘像素中标志与背景的面积,然后根据圆形标志的几何特性在混合像素内部确定两种信息的空间位置分布,从而确定亚像素级边缘位置.图1为标志点的边缘示意图,像元1,4,5,6,8,9,10,12,13,16为纯净像元,像元2,3,7,11,14,15为不同程度的混合像元.

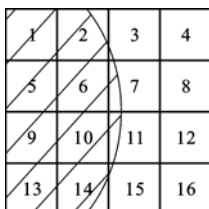
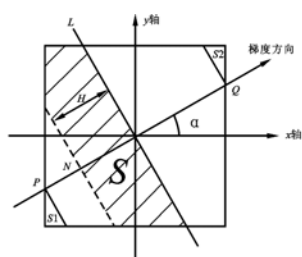
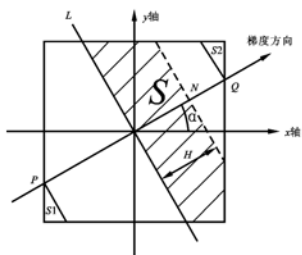


图1 标志点的边缘

混合像元的解混方法有多种,线性模型解混是比较常用的一种方法,即假定像元的反射率是它的端元组分的反射率的线性组合,端元组分的面积百分比作为权重^[6].因此,圆形标志点边缘处像素的灰度可看作是标志与背景两种地物灰度按面积加权得到的.当混合像素恰好是标志与背景各占一半时,边缘也恰好经过像元的中心,当混合像素中标志的面积大于一半时,如图2(a)所示,设梯度方向为 α ,则应沿梯度的反方向移动一定的距离 H ,使得面积 $(0.5 + S)$ 等于标志所占的面积;同样,当混合像素中标志的面积小于一半时,如图2(b)所示,则应沿梯度方向移动一定的距离 H ,使得剩余的面积 $(0.5 - S)$ 等于标志所占的面积.



(a) 标志点面积大于一半的一个混合像元



(b) 标志点面积小于一半的一个混合像元

图2 混合像元

3 算法原理分析

3.1 算法基本过程

(1) 像素级边缘提取及梯度计算

采用边缘提取算子提取出灰度变化较大的像素即为标志点的边缘像素,再求出边缘像素的梯度方向.

(2) 亚像素级边缘提取

利用边缘像素的灰度信息及梯度方向确定像素内部标志与背景的空间位置分布,获得亚像素级精度的边缘点坐标.

(3) 椭圆拟合定位

将亚像素级的边缘点进行最小二乘椭圆拟合,求得标志点中心的坐标.

3.2 像素级边缘提取与梯度计算

边缘是图像最基本的特征,是所要提取的目标和背景的分界线^[7],因此对标志点的定位精度具有很重要的影响.目前已有很多成熟的边缘检测算子,如Roberts算子、Sobel算子、Prewitt算子都属于一阶微分的边缘检测算子,本文将Sobel算子进行变形来提取标志点的边缘,并计算边缘点的梯度方向,则图像中像素点 (i, j) 沿 x 方向和 y 方向的一阶微分 f_x 和 f_y 分别为

$$\begin{cases} f_x(i, j) = (f(i-1, j+1) - f(i-1, j-1) + 2(f(i, j+1) - f(i, j-1)) + f(i+1, j+1) - f(i+1, j-1))/4 \\ f_y(i, j) = (f(i-1, j-1) - f(i+1, j-1) + 2(f(i-1, j) - f(i+1, j)) + f(i-1, j+1) - f(i+1, j+1))/4 \end{cases} \quad (1)$$

梯度模为

$$g(i, j) = |f_x| + |f_y| \quad (2)$$

选择一个合适的阈值 T , $g(i, j) > T$ 的像素即为边缘点.

当影像中的圆形标志变形很小时,将提取出的边缘点进行一次椭圆拟合求出圆心,则梯度方向为圆心与边缘点的连线方向,由灰度小的一端指向灰度大的一端,范围为 $[0, 360)$;当影像中的圆形标志变形较大时,梯度方向的计算公式为式(3),此时 θ_g 的范围是 $(-\pi/2, \pi/2]$,再根据梯度方向是由灰度小的一端指向灰度大的一端将 θ_g 转化为 $[0, 360)$ 的范围.

$$\theta_g = \arctan(f_y/f_x) \quad (3)$$

3.3 亚像素级边缘提取

由于成像系统的分辨率是有限的,直接采用边缘检测算子提取的边缘处像素一般是由特征点和背景两种信息混合而成的.因此利用边缘整像素的灰度信息及其梯度方向进行亚像素级边缘提取.算法的步骤如下:

(1) 从图像中确定标志点内部与周围背景的灰度分别为 a 和 b (假定标志点的灰度 a 大于背景的灰度 b , 即标志点比背景亮). 为了尽量减小噪声的影响,标志点内部的灰度 a 为标志点内部像素的灰度平均值,周围背景的灰度 b 为背景像素的灰度平均值;

(2) 在遥感影像的线性模型解混中,认为每一光谱波段中单一像元的反射率是它的端元组分特征反射率与它们各自丰度的线性组合,第 i 波段的像元反射率 γ_i 可表示为

$$\gamma_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j) + e_i \quad (4)$$

式中, $i = 1, 2, 3, \dots, m, j = 1, 2, 3, \dots, n, \gamma_i$ 是混合像元的反射率, a_{ij} 表示第 i 波段第 j 个端元组分的反射率, x_j 是该像元第 j 个端元组分的丰度, e_i 是第 i 波段的误差, m 表示波段数, n 表示选定的端元组分个数^[6]. 考虑到数字摄影测量影像中波段数较少,因此将线性模型进行简化,本研究中只采用了一个波段,两种端元即标志点与周围的背景,在不考虑波段误差 e 的情况下,影像中混合像元的灰度 γ 为

$$\gamma = a \cdot x_1 + b \cdot x_2 \quad (5)$$

式中 a 是标志点内部的灰度, b 是标志点周围背景的灰度, x_1 是标志点的面积, x_2 是背景的面积,且满足 $x_1 + x_2 = 1$.

按照式(5) 计算每个边缘像素中标志点的面积 m .

(3) 根据梯度方向确定混合像素内标志点的空间位置分布. 当标志点在混合像素中的面积为 0.5 (像元的边长看作 1), 则标志的亚像素级边缘经过混合像素的中心; 当标志点的面积 m 大于 0.5, 则如图 2(a) 所示, 从直线 L 开始, 沿梯度的反方向增加 H , 将边缘点移动至 N 点, 使得移动部分的面积 $S = m - 0.5$, 从而确定标志的亚像素级边缘点 N ; 当标志点的面积 m 小于 0.5, 则如图 2(b) 所示, 从直线 L 开始, 沿梯度的方向增加 H , 将边缘点移动至 N 点, 使得移动部分的面积 $S = 0.5 - m$, 从而确定标志的亚像素级边缘点 N . 当标志的面积 m 大于 $(1 - S_1)$ 或者小于 S_2 时, 点 N 移动到临界点 P 或者 Q 即

可, 此时的误差对定位精度影响不大.

3.4 椭圆拟合

提取的亚像素级边缘是由一组离散点构成, 基于最小二乘原理进行椭圆拟合^[8], 从而求得标志点中心的坐标. 平面任意位置的椭圆方程可表示为

$$x^2 + Axy + By^2 + Cx + Dy + E = 0 \quad (6)$$

根据最小二乘原理, 求取

$$F(A, B, C, D, E) = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + Ax_i y_i + By_i^2 + Cx_i + Dy_i + E)^2 \quad (7)$$

的最小值来确定参数 A, B, C, D, E 的值. 则中心点的坐标为

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{2BC - AD}{A^2 - 4B} \\ y_0 &= \frac{2D - AC}{A^2 - 4B} \end{aligned} \quad (8)$$

4 理想图像检验

根据混合像元的原理制作一幅理想圆形标志图像如图 3 所示, 背景灰度设为 0, 标志灰度设为 1, 分别采用两种方法进行定位, 同时计算提取的边缘坐标与理想圆的圆周的代数距离^[8], 即平面上一个点 (x_i, y_i) 与方程为 $x^2 + y^2 = r^2$ 的圆的代数距离为 $d = x_i^2 + y_i^2 - r^2$, 采用所有代数距离的平均值的平方根作为边缘点的偏差进行评定, 结果如表 1 所示.

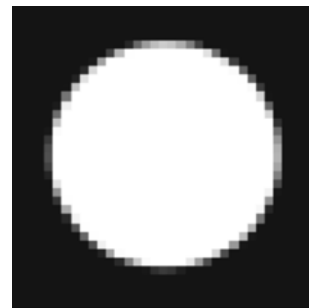


图 3 理想圆形标志图像

表 1 理想图像中两种定位方法对比

标志中心	定位方法	定位结果	差值	偏差
(17.7, 18.2)	像素级边缘	(17.718 7,	(0.018 7,	(2.888 0)
	拟合定位	18.206 7)	0.006 7)	
	亚像素级边缘	(17.699 1,	(-0.000 9,	(0.492 7)
	拟合定位	18.201 8)	0.001 8)	

通过理想图像的检验可以看出, 运用本文提出的方法能够很好的对整像素级的边缘进行校正, 从而得到亚像素级边缘, 使得标志点的定位精度得以提高.

5 仿真实验及分析

在实际成像过程中会产生随机噪声,并且镜头对图像边缘有平滑的效果使得边缘并不是理想的阶跃型而是在梯度方向上其梯度幅值分布近似呈高斯曲线分布,因此选用椭圆仿真图像和圆形仿真图像图 4 所示分别加入标准差为 0.005、0.007、0.01、0.015、0.02 的高斯噪声来比较用像素级边缘进行椭圆拟合定位与用亚像素级边缘进行椭圆拟合定位的精度,每组进行 30 次试验,定位结果的中误差如表 2 和表 3 所示。

表 2 椭圆标志中心定位中误差对比

高斯噪声 的标准差	定位方法	x 方向中误差/ y 方向中误差/ 像元	
		像元	像元
0.005	像素级边缘拟合定位	0.036 9	0.043 1
	亚像素边缘拟合定位	0.028 3	0.033 8
0.007	像素级边缘拟合定位	0.051 7	0.048 6
	亚像素边缘拟合定位	0.040 3	0.037 2
0.010	像素级边缘拟合定位	0.067 9	0.069 8
	亚像素边缘拟合定位	0.052 0	0.055 2
0.015	像素级边缘拟合定位	0.086 5	0.095 7
	亚像素边缘拟合定位	0.065 8	0.079 5
0.020	像素级边缘拟合定位	0.116 4	0.100 1
	亚像素边缘拟合定位	0.088 4	0.083 7

表 3 圆形标志中心定位中误差对比

高斯噪声 的标准差	定位方法	x 方向中误差/ y 方向中误差/ 像元	
		像元	像元
0.005	像素级边缘拟合定位	0.044 6	0.046 2
	亚像素边缘拟合定位	0.032 4	0.036 8
0.007	像素级边缘拟合定位	0.049 4	0.053 8
	亚像素边缘拟合定位	0.034 7	0.042 5
0.010	像素级边缘拟合定位	0.064 8	0.062 6
	亚像素边缘拟合定位	0.045 3	0.049 7
0.015	像素级边缘拟合定位	0.100 7	0.096 9
	亚像素边缘拟合定位	0.072 5	0.078 9
0.020	像素级边缘拟合定位	0.132 0	0.102 7
	亚像素边缘拟合定位	0.094 7	0.085 3

通过表 2 和表 3 可以看出:加入高斯噪声的仿真图像,不论是椭圆标志还是圆形标志,亚像素级边缘拟合定位的中误差总小于像素级边缘拟合定位的中误差。显然,采用亚像素边缘拟合定位的精度明显提高了。

采用实际图像来检验本算法的精度,由于无论

采用什么方法都无法得到标志点的实际位置,因此本文对等间距规则排列的标志点分别选用像素级边缘拟合定位及亚像素级边缘拟合定位方法来确定圆点的中心,通过计算,说明采用本文方法进行定位比像素级边缘拟合定位更加稳定。当然本方法也有不足之处,即在混合像元内可以确定亚像素级边缘,但若像素级边缘提取的误差较大,也会影响最后的定位精度,所以,当图像受噪声影响较大时,如何更好的选取像素级边缘还有待于进一步研究,另外,若图像的波段数较多,定位精度应该会更高。

6 结束语

本文针对数字摄影测量影像中的圆形标志定位进行了研究,提出了一种新的亚像素级边缘提取算法,实验表明该方法简单、容易实现、运算速度较快而且定位精度比直接用像素级边缘进行拟合定位的精度高。本方法不仅适用于数字摄影测量影像,对于其他数字影像中圆形标志定位的研究也具有一定的意义。

参考文献:

[1] 于起峰,陆宏伟,刘肖琳. 基于图像的精密测量与运动测量[M]. 北京:科学出版社,2002.

[2] 范生宏,黄桂平,陈继华,等. Canny 算子对人工标志中心的亚像素精度定位[J]. 测绘科学技术学报,2006,23(1):76-78.

[3] 张虎,达飞鹏,邢德奎. 光学测量中椭圆圆心定位算法研究[J]. 应用光学,2008,29(6):905-911.

[4] 张丰收,王飞,崔凤奎,等. 一种基于梯度的亚像素边缘检测算法[J]. 微电子学与计算机,2011,28(3):108-110.

[5] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.

[6] 吕长春,王忠武,钱少猛. 混合像元分解模型综述[J]. 遥感信息,2003(3):55-58.

[7] 张德丰. MATLAB 数字图像处理[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社,2012.

[8] 闫蓓,王斌,李媛. 基于最小二乘法的椭圆拟合改进算法[J]. 北京航空航天大学学报,2008,34(3):295-298.

作者简介:

宿晓玮 女,(1988—),硕士研究生. 研究方向为摄影测量与遥感.

孙久运 男,(1974—),副教授,硕士生导师. 研究方向为摄影测量与遥感.