

自适应阈值的遥感影像角点提取算法

何微, 邓小炼

(三峡大学, 理学院, 宜昌 443002)

摘要: 针对传统 SUSAN 角点提取算法中阈值选取的不确定性, 提出了一种自适应分割阈值的 SUSAN 改进算法。首先采用 SUSAN 模板对图像进行模板计算得到梯度图, 然后根据梯度图的灰度分布特征, 采用图像分割方法的判断分析法和 KSW 熵方法对梯度图做分析处理, 最终实现阈值的自动选取, 正确提取出有价值的特征角点。试验结果表明, 改进算法较之传统算法有明显优势, 能准确有效地提取出角点, 具有较强的适应性和应用价值。

关键词: SUSAN 算法; 特征角点提取; 判断分析法; KSW 熵方法; 自适应阈值

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.06.005

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2011)118-0023-05

Corner Detection of Remote Sensing Image Based on Adaptive Threshold Algorithm

HE Wei, DENG Xiao-lian

(College of Sciences, China Three Groges Univ., Yichang 443002)

Abstract: Aiming at the threshold of the traditional SUSAN point extracting algorithm is uncertain, this paper proposes a modified SUSAN corner detection algorithms based on adaptive threshold. Firstly, the gradient image could be obtained by SUSAN template used in image. Then according to the characteristic of the gradient image gray distribution, using the Judgement analysis method and KSW entropy method deal with the gradient image, the threshold automatically is adopted, it can extract valuable feature comer. Using the ASTER remote sensing data as the processing data, we test the traditional algorithm and the modified method. Experimental result indicates that the proposed algorithm is superior than the traditional algorithm, which can extract feature points exactly and effectively, and it has more adaptability and applicable value.

Key words: SUSAN operator; feature corner extraction; judgement analysis method; KSW entropy method; adaptive threshold

1 引言

图像匹配是遥感图像处理领域的关键技术之一, 它在遥感图像镶嵌预处理、图像融合、土地变化检测等工作中起着重要作用。目前基于图像特征点的配准技术是图像匹配的研究方向之一, 其首要任务就是在两幅图像中定位相应的地面控制点对, 因而如何快速正确地提取到控制点对成为一个研究热点。在图

像中, 角点是重要的几何特征, 通常定义为图像中灰度的剧烈变化点或者是曲线曲率的极大值点, 它包含了大量图像信息, 但却减小了计算量^[1~2]。这些点不仅保留图像图形的重要特征, 还可以有效地减少信息的数据量, 有效地提高计算的速度, 从而有利于图像的可靠匹配, 因此, 角点提取有着重要的研究意义^[3]。近年来, 越来越多的学者投入到对角点检测的研究, 也产生了很多算法, 主要将这些算法分为两类: ①基

收稿日期: 2010-11-23 修订日期: 2011-01-22

基金项目: 三峡库区地质灾害教育部重点实验室开放基金, 863 计划项目(2008AA121103), 中国地质调查局地调项目(科[2011]05-02-03)资助。

作者简介: 何微(1985~), 女, 三峡大学理学院硕士研究生, 数学与应用数学专业, 主要研究方向为遥感信息智能处理。

E-mail: hewei0316@126.com

通讯作者: 邓小炼, 副教授, 三峡大学, 主要研究方向为遥感信息处理。

E-mail: dengxiaolian@gmail.com

于图像边缘特征。对图像进行分割和边缘提取,并且提取的准确性很大程度上依赖于图像分割以及边缘提取的精度,如基于边缘链码和边缘曲率提取角点算法^[4];②基于图像灰度。主要根据像素点邻域内的灰度变化,计算点的曲率以及梯度来提取角点,如MORAVEC算子, HARRIS算子^[5~7]和SUSAN算子^[1,8~9]。其中SUSAN算子无方向性、抗噪能力强、易于理解,相比其他算子它的处理速度快和计算较准确,但是它要求影像信息量大,而且其亮度阈值的选取也不易确定。所以,对于如何自动选取阈值的研究也是很有价值的。

本文首先介绍SUSAN算法的原理,然后在此原理的基础上提出新的特征角点的算法,利用判断分析法和KSW熵方法进行自适应阈值的选取,通过实验证明改进算法的有效性。

2 SUSAN角点提取算法的基本原理

SUSAN算法是由英国牛津大学的Smith等人在1996年首先提出的一种基于图像灰度的算法,经常被用来计算图像中的角点特征。

SUSAN区域的定义:将位于圆形窗口模板中心等待检测的像素点称为核心点,对于图像中非纹理区域的任意一点,在以它为核心点的图像窗口中存在一块亮度与其相同的区域,这块区域就是SUSAN。如图1显示了圆形模板在图像中的4个不同位置。

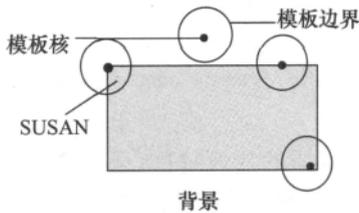


图1 模板在图像中四个不同位置

SUSAN模板在图像上每个像素位置上滑动,比较模板内各图像像素的亮度与模板核心点的亮度:

$$C(\vec{r}_0, \vec{r}) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } |I(\vec{r}) - I(\vec{r}_0)| \leq t \\ 0 & \text{如果 } |I(\vec{r}) - I(\vec{r}_0)| > t \end{cases} \quad (1)$$

通常对于式(1)采用更稳定可靠的形式:

$$C(\vec{r}_0, \vec{r}) = e^{-\left(\frac{I(\vec{r}) - I(\vec{r}_0)}{t}\right)^6} \quad (2)$$

式中, \vec{r}_0 是核在二维图像中的位置; \vec{r} 是模板内除核之外的任意一个点的位置; $I(\vec{r})$ 为 \vec{r} 的亮度; $I(\vec{r}_0)$ 为核点的亮度; t 为亮度差的阈值,它控制生成角点的数量; $C(\vec{r}_0, \vec{r})$ 为亮度比较的结果。模板内所有点(共 n 个)与核亮度比较的和为:

$$n(\vec{r}_0) = \sum_{\vec{r} \in C(\vec{r}_0)} C(\vec{r}_0, \vec{r}) \quad (3)$$

将 $n(\vec{r}_0)$ 与一个给定的阈值 g (称为几何阈值) 进行比较,式(4)为产生角点的初始响应函数:

$$R(\vec{r}_0) = \begin{cases} g - n(\vec{r}_0) & \text{如果 } n(\vec{r}_0) < g \\ 0 & \text{如果 } n(\vec{r}_0) \geq g \end{cases} \quad (4)$$

最后,根据SUSAN区域越小,初始角点响应越大,将对应的像素点标记为角点。

3 改进的SUSAN角点提取算法

通过SUSAN算法原理的介绍,可以发现几何阈值 g 和灰度差阈值 t 这两个阈值的选取是十分重要的。几何阈值 g 主要影响角点的尖锐程度, g 越小,所得的角点越尖锐。一般情况下,在用SUSAN算法进行角点提取的时候取 $g = \frac{1}{2} n_{\max}$, 就可以保证取到较好质量的角点。灰度差阈值 t 表示检测到的点的最小对比度,以及抗噪能力的最大限度, t 值选取的好坏决定了提取角点的结果。 t 越大,检测到的角点越少,反之,就越多^[10]。对于不同条件下得到的图像,它们的对比度和噪声情况都是有差异的,使得对阈值 t 的选取也是不尽相同的。因此能根据不同条件自动给出最优 t 值(即自适应选取阈值 t) 是非常重要的,这里,我们将给出对 t 值的自适应提取的算法。

本文采用的是一个 7×7 包含了37个像素的圆形模板,如图2所示。

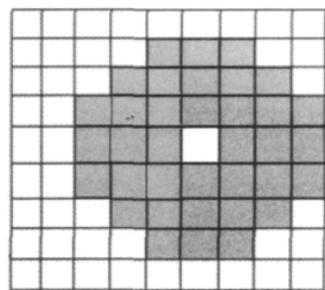


图2 SUSAN模板

$$T_r = \frac{1}{36} \sum I(\vec{r}) - I(\vec{r}_0) \quad (5)$$

根据式(5)将模板内每个像素的灰度与模板中心的灰度进行比较,滑动模板对图像中的每一个像素都用此种方法得到图像的梯度直方图(图4)和灰度差梯度图(图5)。一般情况下,阈值 t 就是根据计算梯度直方图的曲率来选取的,而利用曲率得到的 t 值提取的角点虽然数量较多,但其中伪角点也较多。我们知道,角点包含着大量的信息,它的梯度变化大,

与非角点存在着明显的差别。基于此,通过引用图像分割思想可将灰度差梯度图中的角点归为目标类,而非角点视作背景类,再根据判断分析法和 KSW 熵方法对灰度差梯度图进行作用得到自适应阈值 t 。

3.1 判断分析法原理

假定最简单图像 $f(i, j)$ 的灰度区间为 $[0, L-1]$, 选择一个阈值 t 将图像的像素分为 $c_1(f(i, j) < t)$ 和 $c_2(f(i, j) \geq t)$ 两组。

令 c_1 中的像素数为 w_1 , 灰度平均值为 m_1 , 方差为 σ_1^2 ; c_2 中的像素数为 w_2 , 灰度均值为 m_2 , 方差为 σ_2^2 。图像总像素数为 $w_1 + w_2$, 灰度均值为 $m = (m_1 w_1 + m_2 w_2) / (w_1 + w_2)$, 于是可以得到 c_1 和 c_2 的组内方差 σ_w^2 和组间方差 σ_B^2 :

$$\sigma_w^2 = w_1 \sigma_1^2 + w_2 \sigma_2^2 \quad (6)$$

$$\sigma_B^2 = w_1 (m_1 - m)^2 + w_2 (m_2 - m)^2 \quad (7)$$

由于角点的梯度变化较大, 则当把灰度差梯度图的角点视为一组, 非角点视为另一组时, 这两组的差别会比较大, 也就说明这两组间的方差大。因此当 σ_B^2 / σ_w^2 的值越大, 就表明角点与非角点的分组效果越好。改变 t 的取值, 使 σ_B^2 / σ_w^2 最大所对应的 t , 就是提取角点的最佳阈值。

3.2 KSW 熵方法原理

KSW 熵方法是由 Kapur 等人于 1985 年提出的, 通过研究图像灰度直方图的熵测量, 利用条件概率描述图像中目标与背景的灰度分布, 并据此定义目标与背景的熵, 自动找出最佳阈值的方法。

设有阈值 t 将灰度范围为 $[0, L-1]$ 的图像划分为目标 W 和背景 B 两类, $B: \frac{p_0}{P_t}, \frac{p_1}{P_t}, \dots, \frac{p_t}{P_t}$ 为 $[0, t]$ 的像素分布, $W: \frac{p_{t+1}}{1-P_t}, \frac{p_{t+2}}{1-P_t}, \dots, \frac{p_{L-1}}{1-P_t}$ 为 $[t+1, L-1]$ 的像素分布, p_i 是各灰度级出现的频率, $P_t = \sum_{i=0}^t p_i$ 。与这两个分布有关的熵分别为 $H_{W(t)}$ 和 $H_{B(t)}$, 并有

$$H_{B(t)} = - \sum_{i=0}^t \frac{p_i}{P_t} \ln \frac{p_i}{P_t} = \ln P_t + \frac{H_t}{P_t} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} H_{W(t)} &= - \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{p_i}{1-P_t} \ln \frac{p_i}{1-P_t} \\ &= \ln(1-P_t) + \frac{H-H_t}{1-P_t} \end{aligned} \quad (9)$$

其中, $H_t = - \sum_{i=0}^t p_i \ln p_i$,

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \ln p_i$$

图像的熵 $H(t)$ 为 $H_{W(t)}$ 和 $H_{B(t)}$ 之和, 即为:

$$H(t) = \ln P_t (1-P_t) + \frac{H_t}{P_t} + \frac{H-H_t}{1-P_t} \quad (10)$$

熵表示的是平均信息量, 熵取最大值时, 就表明获得的信息量为最大。由于角点包含了大量的信息, 所以当 t 取角点灰度值时, 得到的熵值就大。根据上述公式描述, 即对灰度差梯度图的灰度级范围内遍历计算每一个 t , 计算两部分的熵, 最后得出熵之和最大的对应的那个灰度级, 即为提取角点的最佳阈值。

改进后的 SUSAN 角点提取算法的具体步骤如下:

- ① 利用 SUSAN 模板计算灰度差值, 得到图像的灰度差梯度图和直方图;
- ② 由两种改进算法对灰度差梯度图作用得到最佳灰度阈值 t ;
- ③ 采用②得到的最佳阈值 t , 提取特征角点。

4 实验结果及分析

4.1 遥感图像数据准备

本文采用的是一幅 ASTER 影像作为实验数据, 成像是 2001 年 6 月 4 日, 选取其绿波段, 空间分辨率是 15m, 影像大小为 232 列 \times 300 行。如图 3 所示:



图 3 初始图像

4.2 实验及结果分析

采用 MATLAB 7.0 编写算法程序, 包括传统 SUSAN 算法和改进后的算法。

首先, 我们计算模板内像素点与模板中心的灰度差值, 得到图像的灰度差梯度图和梯度直方图, 分别为图 4 和图 5 表示。

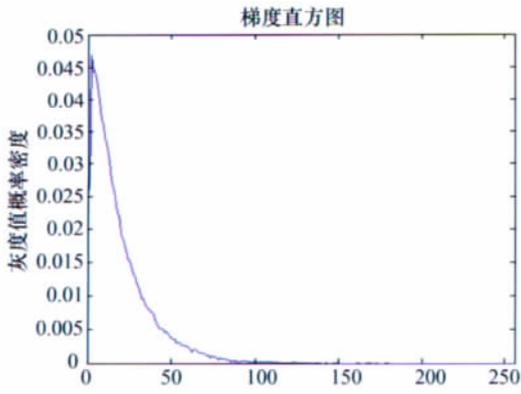


图4 梯度直方图



图5 灰度差梯度图

根据 SUSAN 算法原理,利用梯度直方图曲线选取阈值 $t=19$,对初始图像进行角点提取,得到提取的角点结果图如图 6:

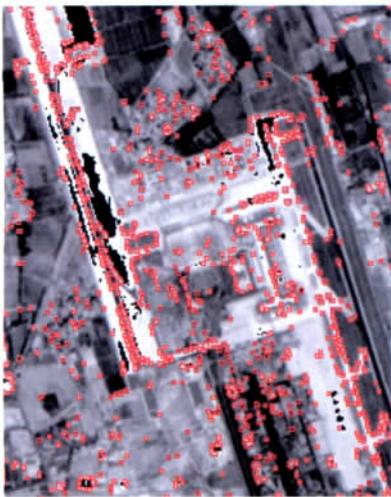


图6 传统 SUSAN 角点检测

采用前面的改进算法原理,对灰度差梯度图作用得到自适应最佳阈值。其中根据判断分析法得到的阈值 $t=22$,其角点提取的结果为图 7;根据 KSW 熵方法得到的阈值 $t=25$,并且角点提取结果为图

8。

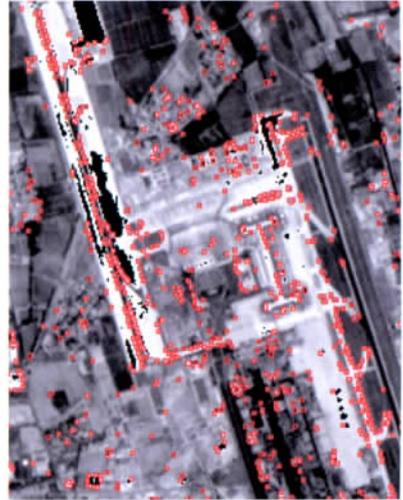


图7 判断分析法

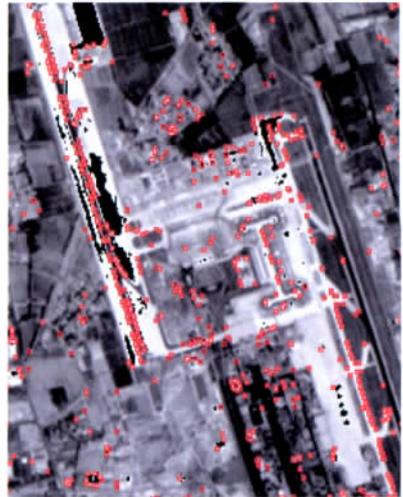


图8 KSW 熵方法

通过对所得结果比较可以看出:当 $t=19$ 时,提取的角点数最多,但同时将非角点的边缘点也提取出来,使得提取的特征点存在大量的伪角点,这对后期的图像匹配的精度和匹配速率都会产生一定的影响。而两种改进的自适应阈值方法较好地解决这一问题,首先用 SUSAN 模板对初始图作用得到灰度差梯度图,然后利用判断分析法和 KSW 熵方法原理分别作用于灰度差梯度图,自适应得到 $t=22$ 和 $t=25$,并提取特征角点。改进方法很好地排除了对非角点的边缘点的提取,大大地减少了伪角点的数量。实验结果证明了改进方法的有效性。

对改进的两种方法进行比较,可以看到图 7 提取的角点几乎包含了整个图像的特征角点,并且比较均匀分布,但伪角点数量较图 8 要多;图 8 中的伪角点最少,但其中一些明显的特征角点也被剔除

掉了,导致提取的特征角点数较少。在计算时间方面,我们在 CPU 为 Intel 奔腾双核 E2140 主频 1.60G,内存为 1G 的微机上测试改进算法提取角点的运算速度,其中 $t=22$ 时所耗时间为 1.656S,而 $t=25$ 时耗用的时间为 1.734S。所以判断分析法的实时性比 KSW 熵方法要好。

5 结束语

本文提出了两种改进的 SUSAN 角点检测算法,并有以下特点:①提出新的特征点提取方法,将

图像分割中的判断分析法和 KSW 熵方法原理应用到角点提取中,方法原理简单;②改进算法是通过图像梯度图的灰度分布特征自动确定角点阈值,使阈值的选取更加合理,保证控制点能够比较均匀的分布。实验结果表明,改进算法能够准确地提取出图像的特征角点,证明了改进算法的有效性。但是改进算法仍有一些问题有待解决:①如何进一步筛选掉判断分析法中的伪角点;②KSW 熵方法计算量较大,在算法的时间复杂度上比较高,因此如何解决这一问题有待于今后进一步的研究。

参考文献

- [1] Smith S M, Brady M J. SUSAN-A new approach to low level image processing[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23 (1): 45-48.
- [2] 杨莉,张弘,李玉山.一种快速自适应 RSUSAN 角点检测算法[J]. 计算机科学, 2004, 31(5): 198-200.
- [3] 张坤华,王敬儒,张启衡.多特征复合的角点提取方法[J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(4): 319-324.
- [4] 李伟,沈振康,李颀.基于局部曲率函数的角点检测[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(11): 2595-2596.
- [5] C. Harris, M. Stephens. A combined corner and edge detector[C]//Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, 1988: 147-151.
- [6] 王威,唐一平,任娟莉,等.一种改进的 Harris 角点提取算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(10): 1995-2001.
- [7] 王玉珠,杨丹,张小洪.基于 B 样条的改进型 Harris 角点检测算法[J]. 计算机应用研究, 2007: 192-205.
- [8] M. Trajkovic, M. Hedley. Fast corner detection[J]. Image and Computing, 1998(16): 75-87.
- [9] 张迁,刘政凯,庞彦伟,等.基于 SUSAN 算法的航空影像的自动配准[J]. 测绘学报, 2003, 32(2): 245-250.
- [10] 刘波,仲思东.一种基于自适应阈值的 SUSAN 角点提取算法[J]. 红外技术, 2006, 28(6): 331-333.
- [11] 邓小炼,王长耀,王汶,等.一种基于特征角点和动态模板的遥感影像控制点匹配算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(8): 204-206.
- [12] 孙文昌,宋建社,杨檬,等.基于熵和独特性的角点提取算法[J]. 计算机应用, 2009(29): 225-227.
- [13] 邓小炼,王长耀,亢庆,等.一种基于角点提取的遥感影像地面控制点自适应匹配算法[J]. 宇航学报, 2006, 27(1): 45-50, 88.

Esri 提供完整三维 GIS 解决方案

近些年,随着 IT 技术的发展和地理信息系统(GIS)技术逐渐走向成熟,三维 GIS 技术发展非常迅速。国内许多城市已建立了三维 GIS 系统,为规划和城市形象服务。三维 GIS 系统的建设往往要经历从数据获取与处理、数据存储与管理、可视化场景创建、面向业务的空间分析、应用系统开发到服务发布与共享一系列过程。由于国内三维 GIS 多采用直接建模的方式,使得建设成本高、设计更新周期长,效率较低。

全球地理信息系统(GIS)领导厂商 Esri 一直不断的完善和提高 ArcGIS 三维的功能,即将发布的 ArcGIS10.1 为用户提供一个功能全面、使用简单的完整解决方案,包括数据处理、管理、可视化、分析、共享。为了进一步提高 ArcGIS 的三维建模和三维设计能力,Esri 最近收购了瑞士城市环境三维建模软件公司——Procedural Inc,其著名产品 CityEngine 可以使用二维的 GIS 数据快速建立三维场景,使空间数据和三维视图完美的融合在一起;可以快速、动态的进行规划设计,使三维视图和规划设计完美的融合在一起。CityEngine 的特点是基于规则建模,可以根据 GIS 数据中建筑物和设施的各种属性自动实时建模,例如建筑物的高度、楼层数、层高、屋顶样式、外墙样式等;公共设施的属性、尺寸、间距、功能等;道路桥梁的用途、尺寸、材质等都可以实时调整修改,并立即展现。这可以为城市规划、设施管理、建筑设计提供快速建模和展示工具。更特别的是,用户可以直接在三维场景中进行规划设计,并对其他建模软件建立的模型进行规则定义和修改,这开启了三维 GIS 模型后期处理的先河,降低了三维 GIS 建模、规划、更新的人力物力成本,极大地提高了工作效率。

由于 CityEngine 对 ArcGIS 的完美支持,使很多已有的基础数据不需转换即可迅速实现三维建模,减少了系统再投资的成本,也缩短了三维 GIS 的建设周期。在刚刚举办的第九届 Esri 中国用户大会上,Esri 技术人员展示了 ArcGIS 与 CityEngine 的完美结合。据悉在不久的将来, CityEngine 将集成到 ArcGIS 内核体系中,用户可在 ArcGIS 中轻松地创建三维模型,并进行三维设计修改,届时 Esri 将为用户提供更加完整的三维 GIS 解决方案。