利用角点最近距离统计平均法计算建筑物阴影长度

王永刚[1]，刘慧平[2]
(1. 中国科学院遥感应用研究所,北京　100101；2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院,北京　100875)

摘要：针对高分辨率图像上部分规则建筑物阴影轮廓的特点,基于曲率尺度空间角点探测法(CSS, Curvature Scale Space),提出了一种阴影长度半自动量算方法。该方法首先计算角点最近距离,然后进行长度和角度筛选,最后进行统计平均。在以北京师范大学校园为例的实验中,较准确地得到建筑物高度信息,从而显示该方法不仅可以弥补传统手工量算阴影宽度工作繁琐和效率低下的缺陷,而且可以有效地提高计算精度。

关键词：角点；统计平均；建筑物；阴影长度
中图分类号：TP 75　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-070X(2008)03-0032-05

0　引言

在摄影过程中,由于太阳光被一些物体遮挡,在影像上产生阴影是不可避免的。阴影的大小会随着影像空间分辨率的提高而增加,因此,在高空间分辨率遥感影像上阴影特征是非常明显的。对于建筑物、树木等具有高度特征的地物来说,阴影可以提供大量的关于产生阴影地物目标的空间形状、相对位置和表面特性等相关信息,是三维信息提取的重要线索。因此,国内外一些学者分别进行了利用高分辨率遥感图像上建筑物阴影估算建筑物高度的研究。例如,1995年Cheng和Thiel利用SPOT全色图像上建筑物阴影信息直接进行建筑物的高度估算,并在42座建筑物高度测量应用中获得了3.69 m的均方根误差[1]；国内的王大成[3]、何国金[4]、董玉森[5]及谢军飞[6]等也都进行过类似的研究。

这些研究一般利用太阳、卫星、建筑物与阴影的几何关系,推导出建筑物高度和阴影长度的三角关系模型,从而进行建筑物高度的估算,因此,阴影长度的量算精度对于建筑物高度的计算是非常重要的。当前一些方法多采用建筑物/阴影边界上特定一点到阴影/地表边界另一点之间的距离来代表阴影长度。这种通过两点计算阴影长度的方法在理论上成立,但在实际应用中,由于成像过程中大气、传感器姿态、树木及其阴影、光照等因素的影响,以及建筑物/阴影边界和阴影/地表边界的模糊性,使得提取出来的规则建筑物阴影边缘轮廓并不是均匀平滑的直线或者光滑曲线,而是含有许多微小棱角甚至是比较大的凹陷或者凸出,如图1所示。

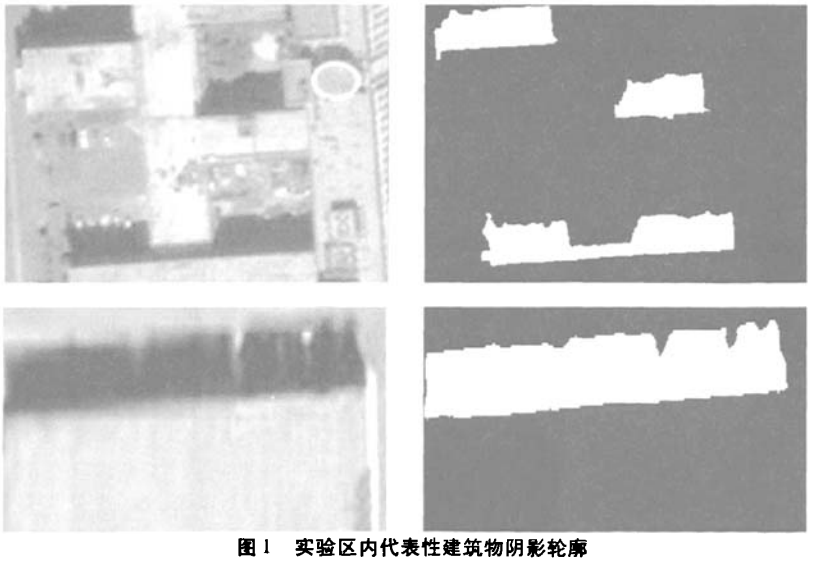

图1　实验区内代表性建筑物阴影轮廓

收稿日期：2008-02-19；修订日期：2008-03-31
基金项目：国家自然科学基金(40671127),"111"计划(B06004),长江学者和创新团队发展计划资助。

万方数据

显然,在这种情况下,建筑物/阴影边界和阴影/地表边界上用来计算阴影长度的点对很难确定,对应点不准确会使阴影长度计算产生很大误差。为此,本文尝试首先利用曲率尺度空间法(CSS)计算阴影边缘轮廓上的角点;然后利用欧氏距离公式逐个计算出阴影/地表边界上角点集中的每个角点到建筑物/阴影边界上角点集的最短距离,并从得到的距离集合中选择距离差满足一定阈值范围的角点距离进行统计平均,以此作为垂直于建筑物走向的阴影长度。利用角点最近距离统计平均法计算垂直建筑物走向的阴影长度,把两点之间的距离转化为多点间的平均距离,既避免了找对应点的难题,又可减小阴影长度计算过程中的误差。

1　角点最近距离统计平均法

本文基于 CSS 法提出的角点最近距离统计平均法的具体实现流程如图 2 所示。

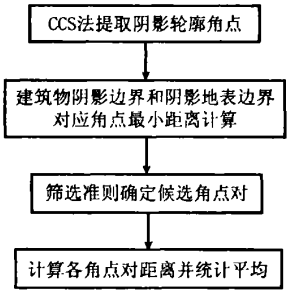

图 2　角点最近距离统计平均法实现流程

1.1　角点的提取

角点为物体识别和特征描述提供了重要信息,它在移动跟踪、目标识别和立体像对匹配等许多领域得到了广泛应用。目前已经提出了多种角点检测方法,曲率尺度空间法(CSS)就是其中重要的一种[2]。该方法的理论基础为:角点是曲率 k 绝对值的局部最大值。一般尺度(Scale)条件下,由于噪声的影响导致在数字轮廓上存在许多这样的局部最大值,随着尺度的增加,噪声的影响逐渐消除,仅真实角点对应的局部最大值保留下来。角点定位在较高的尺度(δ_{high})以确保角点检测不受噪声的干扰。对于圆形角点或者噪声可以通过设置一定的阈值 t 加以去除,尖锐角点的曲率明显大于圆形角点的曲率。每一个曲率的局部最大值与相邻的 2 个局部最小值比较,角点的曲率应该是相邻极值曲率的 2 倍,这在连续光滑的圆形轮廓情况下是必要条件。通过这些条件以及阈值 t,可以准确地探测出真实角点并且去除错误角点的影响。

曲率 k 可用公式(1)描述,即

$$k(u,\sigma)=\frac{\chi_u(u,\sigma)\gamma_{uu}(u,\sigma)-\chi_{uu}(u,\sigma)\gamma_u(u,\sigma)}{[\chi_u^2(u,\sigma)+\gamma_u^2(u,\sigma)]^{1.5}} \tag{1}$$

式中,$\chi_u(u,\sigma)=x(u)\otimes g_u(u,\sigma)$,$\chi_{uu}(u,\sigma)=x(u)\otimes g_{uu}(u,\sigma)$;$\gamma_u(u,\sigma)=y(u)\otimes g_u(u,\sigma)$,$\gamma_{uu}=y(u)\otimes g_{uu}(u,\sigma)$;$\otimes$表示滤波运算;$g(u,\sigma)$表示宽度为 σ 的高斯算子(σ 同时也是尺度参数)。CSS 角点探测法的具体操作步骤为:

(1)利用 Canny 检测算子从原始图像上提取出边缘。

(2)从边缘图像上提取出边缘轮廓。Canny 边缘检测在不连续的边缘轮廓上会造成间隙(Gap),当轮廓端点进行边缘提取算法计算时,它执行如下判断选择:

①如果某一端点与另一个端点紧密连接,填充两者之间的间隙并继续进行边缘轮廓提取;

②如果某一端点不是与另外端点而是与某一边缘轮廓紧密连接,则将该端点标记为 T - 连接角点(T - corner point)。

图 3 明确描述了这 2 种类型的间隙,将 T - 连接间隙标记为角点,2 个边缘轮廓之间的间隙则被填充。

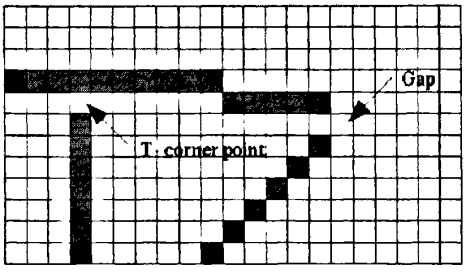

图 3　边缘轮廓上 2 种类型的间隙

(3)利用最大尺度 σ_{high} 计算曲率,通过将曲率局部最大值与阈值 t 和邻近最小值比较来判断候选角点。

(4)利用最小尺度追踪角点,以提高其定位精度。

(5)将 T - 角点的曲率与已探测出的角点比较,将曲率值非常接近的角点去除。

图 4 为利用 CSS 方法探测出的实验区几幢规则建筑物阴影的边缘轮廓和角点集。

万方数据

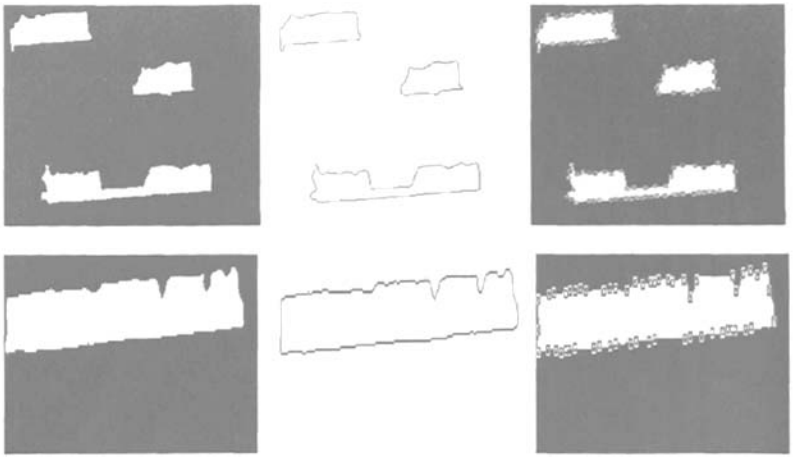

图 4 CSS 法提取的阴影边缘轮廓和角点

1.2 距离的计算

首先,利用曲率尺度空间法(CSS)探测建筑物阴影轮廓边缘上凹陷或者凸出的角点。从上面分析可知,只选择建筑物/阴影边界上的一个角点计算到阴影/地表边界上另一个角点的距离作为阴影长度不但不能反映真实情况,而且会造成很大的误差,因此,需要从角点集中筛选出能代表建筑物阴影长度的一系列角点对。利用欧式距离 $M=[(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2]^{1/2}$ 分别计算建筑物/阴影边界上的每个角点 i 到阴影/地表边界上各角点距离,取距离最小的那个角点 j 与 i 形成角点对(i,j)。从这些角点对中通过一定的规则筛选出能够代表真实阴影长度的候选集,筛选准则如下:

准则 1。角点对(i,j)形成的直线段角度 $\theta_{i,j}$ 满足一定的动态阈值范围$[\alpha,\beta]$,该阈值范围由具体的建筑物走向决定。

准则 2。角点对(i,j)距离长度 $l_{i,j}$ 满足一定的动态阈值范围$[\kappa,\lambda]$,该范围随建筑物的不同而不同。

准则 1 的目的是为了使筛选出的角点对所确定的直线最大限度地垂直建筑物走向,以得到垂直建筑物走向的阴影长度;准则 2 的目的是确定能够代表真实建筑物阴影轮廓长度的角点对。因为从理论上来说,如果不受其它干扰因素的影响,规则矩形建筑物阴影轮廓在垂直建筑物走向方向上阴影长度应该是一个定值。在受到成像过程中大气、传感器姿态、树木及其阴影、光照等因素的影响后,虽然阴影轮廓凹陷或者凸出使边界变的不规则,但是在建筑物/阴影边界和阴影/地表边界上仍然存在一些角点对间的距离与不受干扰的真实阴影长度比较接近,准则 2 就是为了将这些点对筛选出来,放入候选角点对集合中。

对候选角点对距离集进行统计平均,将平均值作为垂直于建筑物走向的阴影长度,以便最大限度地减少阴影长度计算误差。

角点最近距离统计平均法的实现流程用伪码形式描述如下:

```
Curvature Scale Space method detect corners; CSS 法探测建筑物阴影边缘轮廓角点
    for all i ∈ {A_i}; {A_i}为建筑物/阴影边界角点集
      for all j ∈ {B_j}; {B_j}为阴影/地表边界角点集
        angle_filter(line_angleij); 角度条件筛选,角度必须满足阈值范围[α,β]
        length_filter(line_lengthij); 距离筛选,角点距离必须满足阈值[κ,λ]
        Merge Candidate_corner into {C}; 将满足条件的角点对放入候选集{C}
      endfor
    endfor
Statistical_average {C}; 将{C}中各角点对距离统计平均值作为最终的阴影长度
```

图 5 是通过上述算法计算出的代表阴影边缘轮廓真实长度的候选角点对距离,通过对这些距离进行统计平均计算,可以较精确地得到建筑物阴影长度。

万方数据

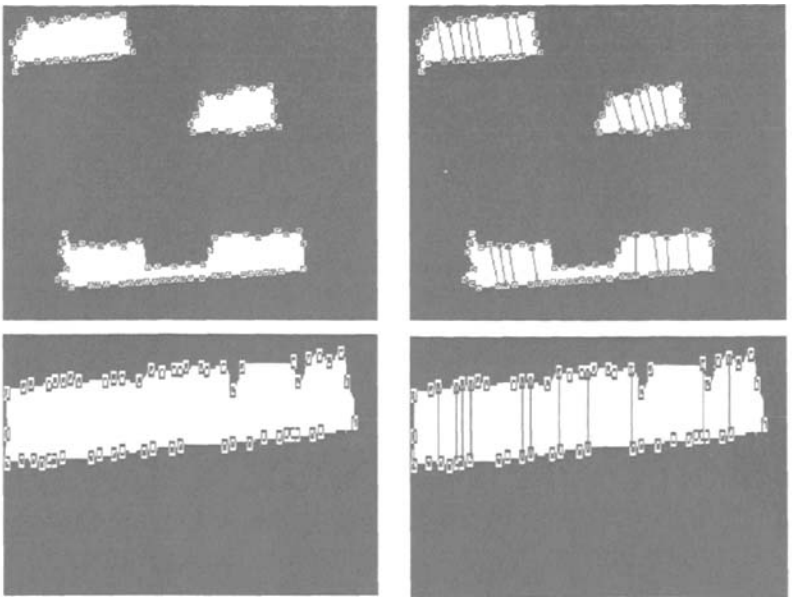

图5　通过筛选准则确定的候选角点对

2　方法试验

以北京师范大学校园为试验区,选取 QuickBird 遥感影像,图像大小为850行×850列。

首先,通过前述方法量算建筑物阴影长度;

然后,确定几何模型。由于试验区图像成像时间未知,因此无法确定建筑物高度和阴影长度的计算模型。但从卫星成像原理可知,在同一景图像上,建筑物高度和阴影长度存在线性关系,即

$$H=\kappa\times L' \tag{2}$$

式中,H 为建筑物高度; L' 为阴影长度; κ 对于同一景图像来说是一个常数,在无法获得卫星成像参数信息时,可以通过当地某一建筑物的实际高度及其阴影长度,反推出常数 κ。

基于以上理论,利用试验区内已知高度的建筑物,在东西向上量算出其阴影长度为12.158个像元,建筑物实际高度为18 m。通过式(2)计算出 $\kappa=1.480\ 5$。因此式(2)可修改为

$$H=1.480\ 5\times L' \tag{3}$$

从试验区中选择14幢典型建筑物,利用式(3)进行计算,其结果如表1所示。其中,绝对误差 = |计算高度 - 测量高度|; 相对误差 = 绝对误差/总误差。

表1　试验区建筑物高度计算结果

建筑物名称	阴影长度/像元	计算高度/m	测量高度/m	绝对误差/m	相对误差/%
化学楼	19.791	29.3	27	2.3	6.63
艺术楼	25.329	37.5	33.3	4.2	12.10
物理楼	7.565	11.2	12	0.8	2.31
数学楼	7.295	10.8	12	1.2	3.46
教七楼	12.023	17.8	15	2.8	8.07
环境学院	10.74	15.9	18	2.1	6.05
科技楼	23.978	35.5	41.5	6.0	17.29
曾宪梓楼	7.43	11.0	12	1.0	2.88
励耘学苑楼	22.155	32.8	37	4.2	12.10
教二楼	6.822	10.1	12	1.9	5.48
兰蕙公寓	14.522	21.5	24	2.5	7.21
学13楼	9.524	15.9	18	2.1	6.05
电子楼	8.983	13.3	15	1.7	4.90
演播楼	6.822	10.1	12	1.9	5.48

万方数据

3 结论与讨论

(1)建筑物高度信息是建筑物信息提取的重要内容。在提取高度信息之前,首先,需要确定建筑物阴影长度。传统手工量算阴影长度的方法只是简单地在建筑物/阴影边界以及阴影/地表边界上各自选择一个点,然后通过软件量算工具计算两点之间的距离并将其作为该建筑物的阴影长度。这种方法繁琐且量算点不易控制,计算精度相对较低。

(2)利用角点最近距离统计平均法计算建筑物阴影长度,把两点之间的距离转化为多点间的平均距离,既避免了确定对应点对的难题,又有效地减小了阴影长度计算过程中的误差,基本上可实现建筑物阴影长度的半自动计算。

(3)本文方法对试验区内的规则矩形建筑物高度计算精度较高,基本可满足实用化需求,但对于形状较为复杂建筑物(如椭圆形或复杂多边形阴影轮廓)的计算误差比较大,主要原因有2个:一是建筑物外形结构复杂,楼体各部分的阴影互相遮挡,从而造成建筑物阴影信息提取精度不高;二是建筑物/阴影和阴影/地表边界上用来计算阴影长度的点对不易确定。

参考文献:

[1] Cheng F, Thiel K H. Delimiting the Building Heights in a City from the Shadow in Panchromatic SPOT - Image - Part 1 - Test of Forty Two Buildings[J]. Int. J. Remote Sensing, 1995, 16(3): 409 - 415.

[2] Mokhtarain F, Suomela R. Robust Image Corner Detection Through Curvature Scale Space[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(12): 1376 - 1381.

[3] 王大成. 从高分辨率遥感影像上检测与重建城市建筑物模型的研究[M]. 北京:北京大学出版社,2001.

[4] 何国金,陈 刚,何晓云,等. 利用 SPOT 图像阴影提取城市建筑物高度及其分布信息[J]. 中国图象图形学报,2001,6(5):425 - 428.

[5] 董玉森,詹云军,杨树文. 利用高分辨率遥感图像阴影信息提取建筑物高度[J]. 咸宁师专学报,2002,22(3):93 - 96.

[6] 谢军飞,李延明. 利用 IKONOS 卫星图像阴影提取城市建筑物高度信息[J]. 国土资源遥感,2004,(4):4 - 6.

THE CALCULATION OF BUILDING SHADOW LENGTH USING STATISTICAL AVERAGE METHOD BASED ON CORNER SHORTEST DISTANCE

WANG Yong - gang[1], LIU Hui - ping[2]

(1. *Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing* 100101, *China*;
2. *School of Geography, Beijing Normal University, Beijing* 100875, *China*)

Abstract: In the light of characteristics of some building shadow outlines in high resolution images, the authors put forward a new method for measuring the shadow width based on the Curvature Scale Space (CSS) method. This semiautomatic method first computes the shortest distance between corners, then performs length and angle filtering, and finally calculates statistical averages. The campus of Beijing Normal University was chosen as the test field. The result demonstrates that this method can make up such drawbacks in the manual work of shadow width measurement as the cumbersome process and low efficiency and at the same time effectively improve the calculation precision.

Key words: Corner; Statistical average; Building; Shadow length

第一作者简介:王永刚(1981 -),男,毕业于北京师范大学,现为中国科学院遥感应用研究所在职博士。主要研究领域为遥感和 GIS 集成应用和遥感图像数字处理。

(责任编辑:刁淑娟)

万方数据