

从城市地区的 DSM 到 DTM^{*}

仇 彤 张祖勋 张剑清

(武汉测绘科技大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 39 号, 430070)

摘要 讨论了根据影像匹配的结果将 DSM 修正成 DTM 的方法。本文针对城市地区航空影像的立体匹配结果, 结合影像的结构纹理特征, 提出了一种自动修正影像匹配结果以获得正确的 DTM 的方法。

关键词 影像匹配; DSM; DTM; 启发式搜索

分类号 P231.5

利用航空影像自动获取数字地面模型 DTM 是数字摄影测量中的一项重要任务, 其基础是影像的立体匹配结果。对于城市地区而言, 大量的匹配点位于房屋的顶部, 由此结果计算得到的是数字表面模型 DSM, 因此必须对影像匹配的结果进行修正, 结合纹理分析, 将房顶上的点降低到地面上来, 从而获得真正的 DTM。

1 基于城市地区影像匹配结果的分析模型

影像匹配是数字摄影测量中提取物体三维信息的基础, 其目的是自动获取左右影像上同名点之间的视差数据。对于城市地区的影像匹配, 由于匹配点在左影像上呈规则格网点分布, 因此, 大量的同名点位于房屋的顶部, 它们的视差值与附近地面上点的视差值之间存在较大的差别, 当利用等视差曲线来分析时, 可以看到在房屋、树木的地方会产生很密的等视差曲线, 在视差曲面上会形成一个个凸起, 所有的房屋都包含在这些凸起所占据的区域内。因此, 可以利用影像匹配结果来寻找这些凸起所在的区域, 从而对区域内的点进行修正, 以便于将房顶上的点的高程降低到地面上来。

为了准确地得到房屋的外接范围, 我们可以根据视差信息计算对应的坡度信息, 通过跟踪坡度变化最大的点来获得相应房屋外接范围。

实际上, 视差格网类似于 DTM 格网, 对应的坡度计算类似于 DTM 的坡度计算, 因此, 对于相邻 4 个点的视差值 P_{00} , P_{01} , P_{10} , P_{11} , 其对应的坡

度计算为:

$$\operatorname{tg}\theta_x = [(P_{10} + P_{11}) - (P_{00} + P_{01})] / 2\Delta x \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}\theta_y = [(P_{01} + P_{11}) - (P_{00} + P_{10})] / 2\Delta y \quad (2)$$

$$\operatorname{tg}^2\theta = \operatorname{tg}^2\theta_x + \operatorname{tg}^2\theta_y \quad (3)$$

$$\operatorname{tg}T = \operatorname{tg}\theta_y / \operatorname{tg}\theta_x \quad (4)$$

式(1)和(2)分别计算 x , y 方向上的角度, 式(3)计算坡度值, 式(4)计算相应的坡向角。

实际上, 我们可以将规则格网点的坡度方向信息看作是一幅特殊的图像, 对应的坡度值即为相应的像素的值, 坡度方向的变化对应于普通影像上灰度值的变化。因此, 在理想的情况下, 我们可以采用普通图像处理中边缘提取的方法来获得坡度方向变化最大的曲线。然而, 由于影像中所存在的阴影、遮蔽、变形等因素会导致错误的匹配结果, 单纯利用从影像匹配结果中获得的坡度信息有时不能得到正确的房屋的外接区域。因此, 在考虑坡度变化最大的同时, 必须考虑相应点之间的视差兼容性。

2 基于启发式搜索的最大坡度变化跟踪

为了在最大坡度变化曲线的跟踪过程中兼顾相邻点之间的视差约束, 我们可以采用启发式搜索来实现这一操作。假设坡度计算结果为 $s(x, y)$, 相邻两点的视差为 P_k, P_j , 则定义:

梯度算子

收稿日期: 1997-06-02 仇彤, 男, 30岁, 助理研究员, 博士, 现从事数字摄影测量研究

* 国家自然科学基金资助项目, 编号 49571052

$$G[s(x, y)] = [\partial/\partial x \quad \partial/\partial y]^T \quad (5)$$

梯度模

$$\|G[s(x, y)]\| = [(\partial/\partial x)^2 + (\partial/\partial y)^2]^{1/2} \quad (6)$$

梯度方向

$$\tan \theta = (\partial/\partial y) / (\partial/\partial x) \quad (7)$$

视差约束

$$\Delta P = |P_i - P_j| \quad (8)$$

代价函数

$$C(i, j) = V \cdot \{ \|G[s(x_i, y_i)]\| + \|G[s(x_j, y_j)]\| \} / (\Delta P + 1) \quad (9)$$

式中的 V 表示缩放系数,通常可以设 $V = 1.0$

对于启发式搜索而言, $C(i, j)$ 表示从点 i 到点 j 的代价,相应的启发信息函数定义为:

1)如果点 i 与初始点的距离小于某一阈值 W ,则 $h(i) = 0$;

2)否则, $h(i) = \max\{C(i, j) + h(j)\}$

应用相应的估价函数 $f(n) = g(n) + h(n)$,其中 $g(n)$ 表示从起始点到中间点 n 的最佳路径的代价; $h(n)$ 表示从中间点 n 到目标点的最佳路径的代价; $f(n)$ 表示从起始点到目标点的最佳路径的代价。我们的目标是在近似等视差的条件下跟踪梯度模最大的曲线,这在代价函数中表现为最大的代价值。

3 修正窗口的纹理分析

由于阴影、树木等因素的影响,视差曲面在非房屋的地方也会出现局部的凸起,因此,在所有的修正窗口中,一部分是对房屋的修正,另一部分是对树木、阴影等的修正。对这些区域作进一步的分析可以看到,它们的纹理特性是不同的。如果该区域是房屋,那么对它作边缘特征梯度方向(规范化到 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间)的统计分析,一般来说可以得到 4 个峰值,它们分别对应于梯度方向 0° 、 90° 、 180° 和 270° ,即相邻峰值相隔 90° ,有时还会出现斜方向上的峰值,对应于斜方向(45° 和 135°)上的边缘特征。而如果该区域是树木或者阴影等,那么它的边缘梯度方向统计不呈现明显的峰值,如图 1 和图 2 所示,其中 x 轴表示特征的梯度方向 $0^\circ \sim 360^\circ$, y 轴表示相同梯度方向的特征点数。因此,我们可以通过局部边缘特征提取,利用梯度方向的直方图来区分这两种不同纹理的影像区域,从而可以获得单纯房屋的修正窗口。这种修正窗口实际上还为我们提供了房屋所在区域的轮廓线,为进一步进行房屋的自动测图提供了重要的信息。也就是说,我们可以只对窗口内的特征进行处理,而不需要

对整个影像进行特征提取,减少了处理的时间,降低了树木、阴影等因素对特征提取的影响,它从三维信息的角度为我们提供了重要的信息。

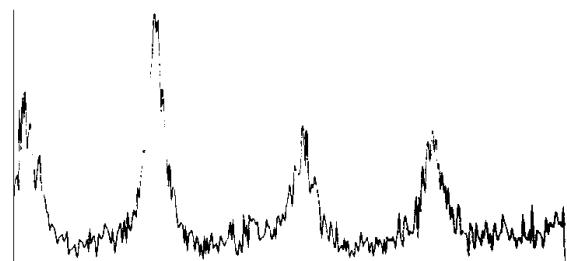


图 1 房屋区域内特征的梯度方向直方图

Fig. 1 Gradient Histogram of Features in House Area

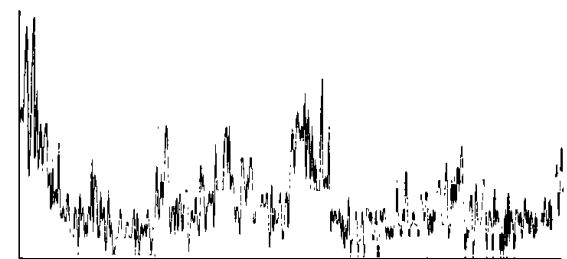


图 2 非房屋区域内特征的梯度方向直方图

Fig. 2 Gradient Histogram of Features

out House Area

一旦获得了相应的修正窗口,我们可以对影像匹配结果进行修正。为了保证修正结果与邻域内地面结果一致,可以将修正窗口稍微放大一点,利用窗口边缘的匹配结果来内插修正窗口内的点的视差。一般可以采用平面或曲面拟合的方法。这种修正过程也可以在计算 DTM 的时候进行。

基于这种方法,即使是在城市地区或者是房屋密集地区,由影像匹配的结果而生成的 DTM 的点也不会位于房顶上,相应的地形比较连续、平坦,由此 DTM 生成的正射影像则不会出现严重的变形,从而保证了正射影像的正确性。图 4 是未进行影像匹配结果修正的正射影像图,图 5 是影像匹配结果修正后的正射影像图。

4 实验结果及结论

我们利用航空影像资料对本文提出的方法进行了实验。图 3 表示了影像匹配的等视差曲线,可以看出,房屋地方的等视差曲线比较密集,这正是我们用来确定对影像匹配结果进行修正的窗口的依据。图 4 表示了在视差兼容的情况下,通过跟踪最大坡度变化的曲线而得到的修正窗口。图 5 是利

用未修正的影像匹配结果生成的 DTM 而得到的正射影像, 图 5 是利用本文提出的方法对影像匹配结果修正后生成的 DTM 而得到的正射影像。对比图 5 和图 6 可以看出, 对影像匹配结果进行修正以后, 房屋上 DTM 点的高程值降到了地面上, 是真正的 DTM, 而不是根据影像匹配结果直接生成的 DSM。由此生成的正射影像没有扭曲变形,



图 3 影像匹配的等视差曲线

Fig. 3 Parallax Contours of Image Matching



图 4 匹配结果的修正窗口

Fig. 4 Correct Window of Image Matching

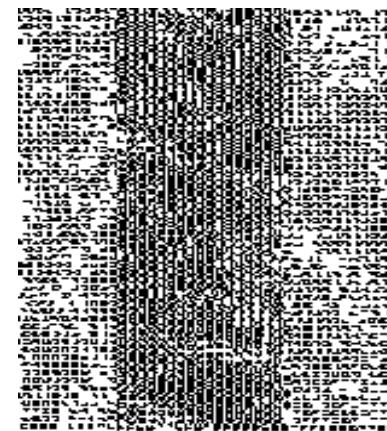


图 5 未修正的正射影像

Fig. 5 Uncorrected Orthophoto



图 6 修正后的正射影像

Fig. 6 Corrected Orthophoto

充分说明了本文提出的修正方法有利于在城市地区中从 DSM 生成真正的 DTM

参 考 文 献

- 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1996

From DSM to DTM in Urban Area

Qiu Tong Zhang Zuxun Zhang Jianqing

(National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,
W TU SM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

Abstract This paper presents a method to calculating DTM from DSM in urban area which is based on the image matching result and structure and texture features.

Key words image matching; DSM; DTM; heuristic search