

高分辨率影像定位的一种新方法

林宗坚¹ 宣文玲² 王艳³

(1 中国测绘科学研究院, 北京市北太平路 16 号, 100039)

(2 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(3 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 提出了利用小比例尺地形图和多分辨率影像实现高分辨率遥感影像定位的方法。阐述了利用线状地物代替点状地物实现低分辨率影像相对于小比例尺地形图纠正定位的方法, 并通过金字塔结构的多分辨率影像逐级匹配, 使高分辨率影像上的细致目标得以绝对定位。

关键词: 地面控制点; 高空间分辨率; 影像金字塔; 图形图像匹配; 最小二乘匹配

中图法分类号: P237.3

目前用卫星遥感和低空无人机等技术手段均能获得高空间分辨率(高分辨率)的光学影像。高分辨率影像便于判译地面精细目标, 在军事和经济等领域获得较好应用, 但是利用高分辨率影像进行地物目标的绝对定位存在很大困难, 现行的技术方法尚不能够解决这个问题。

遥感影像定位方法有三种: ①全野外测量地面控制点。这种方法在军事、救灾等紧急行动和困难地区难以实施。②空中三角测量加密控制点^[1,2]。由于在同等传感器硬件条件下, 高分辨率影像的帧面积很小, 摄影站点的微小偏移或平台角分量控制的微小偏差都会造成相邻影像衔接(重叠度)的极大破坏, 所以多数高分辨率影像难以构建空中三角网。③摄影时直接测量影像外方位元素。这种方法需要价格昂贵的高精度惯性测量装置(IMU), 并且在无人机的简陋环境中无法实现。因此, 研究解决稀缺甚至无地面控制、无空中定位装置、影像不能构成三角网的高分辨率影像定位问题, 具有明确的现实意义。针对这一问题, 笔者提出了影像金字塔逐级定位的思想。其基本原理是: 以可获得的小比例尺地形图为定位基准, 纠正定位最低分辨率影像; 再对金字塔结构的多分辨率影像实行逐级纠正定位, 直至最高分辨率影像得以纠正定位, 并且被镶嵌成正射影像。

1 影像金字塔逐级定位

影像金字塔是指同一地区不同空间分辨率的影像按照分辨率由低到高排列而成的影像系列。逐级定位基于以下事实: 目标在一定分辨率的影像上是否构像(或者说可分辨与否)直接决定于目标尺寸, 尺寸大于该影像分辨率的目标是可见的, 而尺寸小于该影像分辨率的目标“构像”为一个像元点的一部分, 是不可分辨的, 故在低分辨率影像上, 能够分辨大尺寸地物如主干路、主干河流以及湖泊等; 在高一级分辨率影像上, 尺寸小一些的地物可以辨识; 在更高一级分辨率影像上, 更小尺寸的目标如建筑物边界等也清晰可辨了。这可用图 1(b)、1(c)和 1(d)构成的影像金字塔直观表现出来。图 1(d)是 10m 分辨率的 SPOT 影像图, 反映的是北京市东北三环路通往机场高速路以及京顺路的立交桥, 该立交桥在 20m 分辨率的 SPOT 影像图 1(c)上尚可分辨, 而在 30m 分辨率的 TM 影像图 1(b)上该立交桥成像为一个模糊的点状地物, 已无法辨识各支路。

上述事实可以概括为目标细节在影像金字塔里的逐级生成性。目标的可见性与影像分辨率的关系也是目标的可见性与地形图比例尺的关系。在图 1(a)所示的北京市 1:25 万公路图上该立

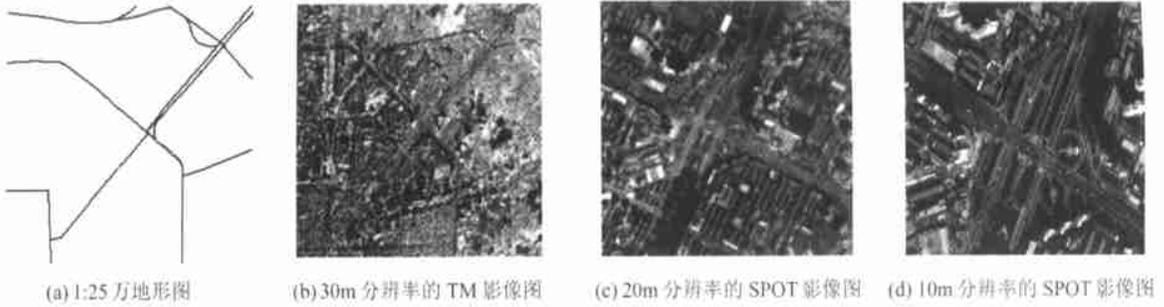


图1 同一地区的小比例尺地形图和影像金字塔(三级)图

Fig. 1 Small-Scale Topographic Map and Image Pyramid

交桥综合成为交叉路口。

由目标细节在影像金字塔里的逐级生成性可以得出:高分辨率影像的平面定位问题能够由影像金字塔的逐级定位得到解决。根据可以得到的地形图的比例尺尺寸,确定与之相应的初级影像分辨率;同时根据待定位的高分辨率影像的分辨率尺寸,确定影像金字塔的级数划分以及中间各级影像的分辨率尺寸;以地形图纠正定位初级影像,获得影像金字塔的定位框架,通过影像间的逐级配准,定位高分辨率影像。

2 主要技术方法

2.1 图形图像匹配

图形图像匹配用于解决最低分辨率影像相对于地形图的纠正问题。

2.1.1 影像线划提取

在使用地面控制点纠正影像时,通常需要在影像中选择一些特征点,比如道路交叉点、建筑物拐角点等作为控制点。在通过野外测量确定控制点坐标时,这种方法是适用的,但在使用地形图作为参考控制时,由于在地形图和影像上刺点困难和精度较低,此方法并不最佳。本文提出使用线划特征代替点特征来求解几何纠正参数。

遥感影像对应于地图矢量在屏幕上人机交互进行线划提取,目视识别同名线状地物的中心线或面状地物的边界线。为了提高效率和精度,可以应用边缘提取算子或线划提取算子以及曲线拟合算法。尽管目前边缘提取算法还很难避免噪声干扰,会出现多边缘、随机移位和断裂等现象^[4],但是在有人工粗线划指引和约束的条件下,用最小二乘方法可以获得稳定的高精度的结果。

2.1.2 骨架扩充

把地图线划的栅格图形和影像上提取的线划视为骨架,赋给最大灰度值 G_{\max} ,然后对骨架作

灰值扩散,形成从骨架向两边递减的坡度灰阶(见图2),这个过程即是骨架扩充。

骨架扩充的意义在于:地图和影像的线划特征灰度值一致,进行影像相关时,扩充的骨架使得迭代求解纠正参数更容易。如图3所示,两个骨架扩充前(S_1 、 S_2 所示),无论多接近,其相关系数都为零;骨架扩充形成坡度灰阶后,骨架接近程度 S_3 将由相关系数正确反映。

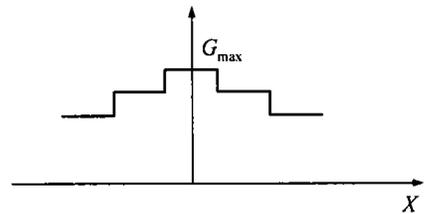


图2 骨架灰值扩散示意图

Fig. 2 Expansion of Gray Scale of Skeleton

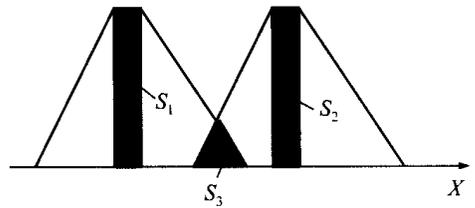


图3 骨架灰阶相关示意图

Fig. 3 Correlation of Two Expanded Skeletons

将地形图线划栅格视为图像 A , 遥感影像线划栅格视为图像 B , 在 A 里开窗口 $m \times n$, 并在 B 中设移动搜索范围 $k \times l$ (k, l 大小是变化的), 计算不同搜索值下 A 和 B 的相关系数 $\rho_{k, l}$, 取其最大值作为 A, B 匹配与否的判据。对于匹配成功点, 保存对应的 k, l 值; 对于非匹配点和匹配失败点, 进行内插计算。根据 k, l 的取值, 对 B 图像进行逐点微分纠正, 即可得到纠正后的 B 图像。

从理论上讲, 以整幅影像的全部线划特征作为控制基准, 进行匹配, 其精度应该较使用若干个控制点的纠正精度高。其原因在于: ①使用整条

线划上的点进行平差计算比仅使用某个特征点进行平差计算, 由于冗余度较高, 因此精度也较高;
 ②从成像机理上讲, 地面上不足 9 个像元的点特征, 其影像模糊, 而地面上超过半个像元宽度的线状地物, 其影像线划清晰。

2.2 逐级影像匹配

当完成了最低分辨率影像相对于小比例尺地形图的纠正定位之后, 后续各级高分辨率影像相对于前一低分辨率影像的纠正(配准)都采用影像对影像匹配的策略来实现。影像匹配可以采用点元匹配或面元匹配的策略。点元匹配虽然算法简单, 但失配点的内插问题复杂, 因此本方案采用面元最小二乘匹配^[3]的策略。

设低一级分辨率影像的灰度值为 $G(X, Y)$, 高一分辨率影像的灰度值为 $g(x, y)$, 两者的几何关系用双线性多项式表示为:

$$X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy$$

按最小二乘匹配原理, 应有:

$$\sum_{x,y} [A \circ g(x, y) + B - G(X, Y)]^2 = \min$$

用最小二乘匹配方法求解 $A, B, a_0, \dots, a_3, b_1, \dots, b_3$ 各参数, 然后进行影像几何变换即可实现高一分辨率影像相对于低一级分辨率影像的纠正定位。

这里的关键问题是如何确定各参数初始值, 本文采用一帧影像中由粗到精的方法。首先设参数初始值为零, 对整帧低分辨率影像用最小二乘匹配求解, 把整帧处理求得的结果用作第二次分块匹配的初始值; 第二次分块匹配是把整帧影像等分成四块, 每块用最小二乘匹配求解后的参数值作为第三次分块匹配的初始值。如此分割直到接近低一级分辨率影像的 20 像素×20 像素的分块尺寸(经验值)为止。

2.3 地形微分纠正

地形起伏引起的像素偏移如图 4 所示。记 H 代表卫星的高度, L 代表影像的范围, Δh 是高程差, 则影像像素偏移 Δr 可表示为:

$$\Delta r = \frac{L \times \Delta h}{2 \times H}$$

如果 $H = 900\text{km}$, $L = 180\text{km}$, Δh 值在比例尺为 1:25 万地形图上为 50m, 则 $\Delta r = 5\text{m}$, 可满足 5m 分辨率影像纠正的精度要求。

因此, 在垂直摄影的情况下, 正射影像对 DEM 要求较倾斜摄影低。由小比例尺地图生成的 DEM 可以在一定程度上满足纠正垂直摄取的高分辨率遥感影像的要求。

2.4 技术流程图

本方法的技术流程如图 5 所示。

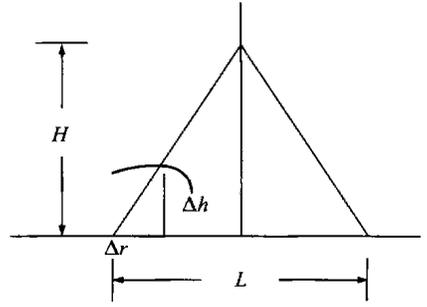


图 4 像素偏移 Δr 示意图

Fig. 4 Pixel Displacement Due to Relief

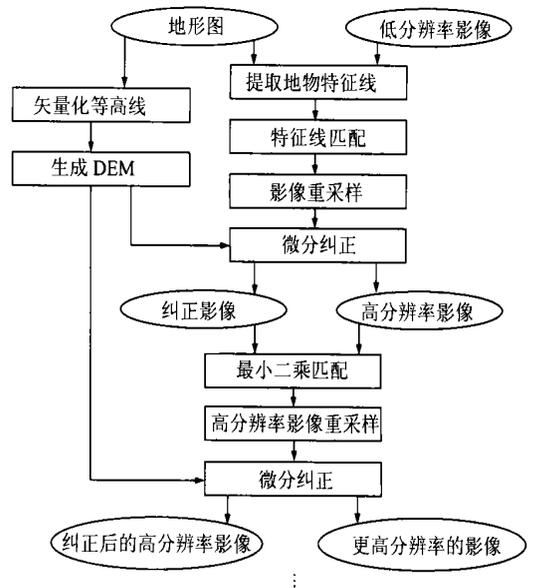


图 5 实现高分辨率影像纠正定位的技术流程图

Fig. 5 Technical Flowchart

3 结 语

1) 理论上, 当野外地面控制点难以施测以及大比例尺地形图缺乏的情况下(仅有小比例尺地形图), 采用逐级纠正多分辨率影像的方法来生成高分辨率正射地图的方案是可行的。

2) 以提取线划特征进行匹配取代从数字影像和地形图中刺点特征进行纠正, 有利于提高定位精度, 并避免了在低分辨率影像中刺点选取的困难。

3) 用最小二乘匹配方法可以实现从低分辨率影像到高分辨率影像的逐级纠正。

4) 微分纠正在地形起伏大的地区是必要的, 但在垂直摄影时对高程精度的要求并不很高。由小比例尺地形图生成的 DEM 基本上满足了高分

分辨率影像纠正的要求。

5) 本方法针对的是高分辨率影像的平面定位问题, 不能满足高程测量的需要。

参 考 文 献

- 1 王之卓. 摄影测量原理. 北京: 测绘出版社, 1981
- 2 李德仁, 郑肇葆. 解析摄影测量. 北京: 测绘出版社, 1981

- 3 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1997
- 4 孙家驷, 舒宁, 关泽群. 遥感原理、方法和应用. 北京: 测绘出版社, 1996

第一作者简介: 林宗坚, 教授, 博士生导师. 主要从事遥感图像处理、模式识别和地理信息系统数据采集方面的研究。

E-mail: lincasm@public.bta.net.cn

A Novel Method for High Resolution Image Positioning

LIN Zongjian¹ XUAN Wenling² WANG Yan³

(1 Chinese Academy of Surveying and Mapping, 16 Beitaping Road, Beijing 100039, China)

(2 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: A novel technical way to solve the problem of high resolution images positioning is proposed. The novel method utilizes only available small-scale topographic map and multi-resolution images without Ground Control Points or large scale topographic map or GPS and IMU data. The first step is to perform rectification and positioning of lowest resolution image by small-scale topographic map, wherein the matching of corresponding linear objects is explained and the algorithm is developed. Then, the image pyramid is to perform image matching layer by layer by Least Square Matching Method until the highest resolution image at the image pyramid top is rectified and positioned. Differential rectification is also discussed to reach the conclusion that DEM come from small-scale topographic map meets the requirement of planar positioning of high spatial resolution images.

Key words: ground control point; high spatial resolution; image pyramid; graphic-image matching; least square matching

About the first author: LIN Zongjian Ph. D supervisor, professor. His research interests include image processing, pattern recognition, data capture in GIS.

E-mail: lincasm@public.bta.net.cn

(责任编辑: 涓涓)