

# 一种新的真正射影像生成算法

王 潇<sup>1</sup> 江万寿<sup>1</sup> 谢俊峰<sup>1</sup>

(1 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:**针对传统正射影像上由于建筑物对周围地物遮挡造成的建筑物倾斜、重影等问题,提出了一种新的遮蔽检测方法,并利用昆明城市地区彩色航空影像分别对该方法和其他两种算法进行了对比,结果表明,本算法的检测结果准确可靠。另外,利用相邻影像重叠信息对遮蔽区域进行了像素补偿,生成了较为完整的真正射影像。

**关键词:**遮蔽检测;高程面投影;迭代;像素补偿

**中图法分类号:**P237.3

正射影像不仅具有地形图的特点,而且包含了丰富的影像信息,在地图制图、城市规划和环境监测等方面有着广泛应用<sup>[1-3]</sup>。然而,由于一般的城市地区正射影像依然存在建筑物的倾斜、重影等问题,其应用空间受到了一定的影响<sup>[4,5]</sup>。这些问题主要是由于建筑物对其他地物存在遮挡,而传统的数字微分纠正方法无法检测造成的。解决问题的关键是需要纠正的同时能分析地物的可见性,从而检测出遮蔽区域。因此,遮蔽检测作为生成真正射影像的重要步骤,成为国内外相关领域研究的热点<sup>[6-9]</sup>。目前,遮蔽检测方法包括 Amhar 的基于矢量建筑物模型的 Z-buffer 方法<sup>[7]</sup>,Rau 的基于栅格 DSM 模型的 Z-buffer 方法<sup>[8]</sup>,Habib 的基于角度的检测方法和 Bang 的基于角度和高程信息的射线追踪法等<sup>[1,9]</sup>。

## 1 基于高程面投影的迭代检测算法

由于城市地区的遮挡物主要由建筑物组成,使用矢量建筑物模型将比使用栅格建筑物模型更能准确地检测出遮蔽区域<sup>[10-11]</sup>,因此,在本文中地形用栅格形式的 DTM 模型表达,而建筑物选择矢量 DBM 模型(digital building model)。

建筑物对地面遮挡的几何关系如图 1 所示,被遮挡的区域由摄影方向上建筑物的屋顶及墙面在地面上的投影减去建筑物所在的区域构成。一

般来说,城市地区的遮挡情况主要包括建筑物对地面的遮蔽,建筑物对建筑物的遮蔽两类情况<sup>[7]</sup>。其中,建筑物对地面的遮蔽更为普遍。

### 1.1 建筑物对地面的遮蔽区域检测

建筑物对地面的遮挡全部来自于建筑物的屋顶及墙面,本文提取 DBM 中建筑物屋顶及墙面多边形的顶点信息,将这些多边形沿摄影方向投影到某一高程面,并按照精度要求将投影至该高程面的多边形栅格化。这样,经过建筑物的摄影光线就转换为了有限条经过摄影中心及多边形栅格点的已知直线。算法中,取 DTM 中的最低高程作为投影高程面。对于城市地区连续地形表面,该值一般与地面点高程值较为接近,为后续的迭代求解提供了良好的初值。

由于地形为起伏变化的不规则表面,通过上述转换,有限条经过建筑物的已知摄影光线与地面模型 DTM 的交点仍无法直接求得。因此,本文将摄影光线与投影高程面的交点作为初值,利用迭代法逐次逼近的原理,最后求得投影光线与地面的实际交点。原理如图 2 所示, $O$  为摄影中心, $B$  为经过建筑物屋顶某点  $S$  的摄影光线与投影高程面的交点。设  $M$  点为  $OB$  与 DTM 的交点。由于  $O$ 、 $B$  点已知, $OB$  直线方程为:

$$\begin{aligned}x &= x_0 + (x_0 - x_B)/t \\y &= y_0 + (y_0 - y_B)/t \\z &= z_0 + (z_0 - z_B)/t\end{aligned}\tag{1}$$

设  $B'$  点为 DTM 上一点,和  $B$  点具有相同平面坐标值。利用该平面坐标值在 DTM 中内插出  $B'$  点的高程值  $Z_{B'}$ ;再将  $Z_{B'}$  代入式(1),得到  $Z=Z_{B'}$  平面与直线  $OB$  的交点  $M'$  点的坐标值,然后利用该点的平面坐标内插出对应的 DTM 点的高程,如此反复迭代。当所求的当前 DTM 点的高程值与前一次的差值小于给定的限差时,迭代终止,此时的 DTM 点即为所求的  $M$  点。

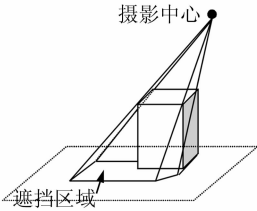


图 1 建筑物  
的遮蔽区域

Fig. 1 Occlusions  
of the Buildings

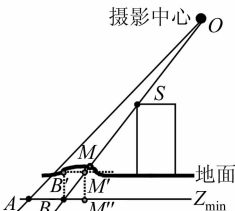


图 2 建筑物对地面  
遮蔽的检测原理

Fig. 2 Occlusion Detection  
Principle when the Buildings  
Hide the Terrain

1) 解求经过建筑物的摄影光线。取 DTM 中最低高程平面  $Z_{\min}$ (图 2)作为投影高程面,将该高程面按照精度要求划分为二维格网 Array- $P$ 。将组成墙面和屋顶表面的矢量多边形投影到该高程面上得到一个多边形投影区域,将此区域二维格网栅格化,并将投影区域内每个栅格点标记为 1,其他栅格点标记为 0;这些投影区域的栅格点和摄影中心的连线即为经过建筑物的摄影光线。

2) 建立地面索引数组用于遮蔽区域检测。建立二维格网 Array- $G$ ,Array- $G$  的格网大小应按照精度要求设置,其精度决定了影像的遮蔽检测及纠正质量。另外,为了减弱投影多边形栅格化误差带来的影响,Array- $P$  的格网大小应略小于 Array- $G$ 。

3) 迭代法求解摄影光线与 DTM 的交点,即遮蔽点。连接摄影中心和每个 Array- $P$  上记录的建筑物投影点,得到经过建筑物的摄影光线。通过迭代法求出这些光线与 DTM 的实际交点,该交点即为被遮蔽点。将该交点的位置记录到对应的 Array- $G$  中,如果该位置为建筑物则不予记录。

4) 利用反解法,并结合地面索引数组进行正射纠正。按照 Array- $G$  的记录情况利用反解法进行纠正<sup>[12]</sup>,并将检测出的遮蔽区域像素值赋为 0。

1.2 顾及建筑物之间遮蔽关系的遮蔽区域检测

如图 3 所示, $OB$  为某条经过较高建筑物的摄影光线,与该建筑物的交点为  $S$ ,与较低建筑的

交点为  $N$ ,与地面的交点为  $M$ 。由最低高程面投影与迭代求解方式,仅能求得  $OB$  与地面的交点  $M$ 。笔者选择一个可以移动的高程面  $Z_{\text{move}}$ ,使之在 DSM 的最低高程  $Z_{\min}$  与最高高程  $Z_{\max}$  之间以一定的间隔逐渐升高,分别求出摄影光线与该高程面的交点。如图 3,摄影光线  $OB$  与  $Z_{\text{move}}$  高程面交于  $P$  点,通过该值,通过迭代法可以求得  $OB$  与整体 DSM 模型的交点  $N$ ,即  $S$  点在较低建筑物上的实际遮挡点。记录  $Z_{\text{move}}$  在移动过程中得到的不重复交点,可得到摄影光线与 DSM 的所有交点,即较高建筑物上的  $S$  点沿  $OB$  方向对其余地物的遮挡点。类似地,可以得到所有经过建筑物的摄影光线与 DSM 的交点,该集合即为建筑物对其余地物的遮蔽区域。

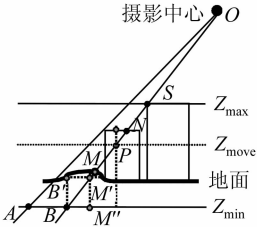


图 3 建筑物对其他地物遮蔽的检测原理

Fig. 3 Occlusion Detection Principle when the  
Buildings Hide Other Objects

其具体算法步骤如下。

1) 解求经过建筑物的摄影光线,建立地面索引数组。同地面遮蔽检测的步骤 1)、步骤 2),建立 Array- $P$  和 Array- $G$ 。

2) 通过移动高程面求得在 DSM 上的所有遮蔽点。如图 3 所示,设定一个高程面  $Z=Z_{\text{move}}$ ,等间距地在 DSM 范围内的最低高程面  $Z=Z_{\min}$  和最高高程面  $Z=Z_{\max}$  之间移动。利用每个高程面与经过建筑物的摄影光线的交点,通过迭代法求出一个该光线与 DSM 的交点。随着高程面移动至  $Z=Z_{\max}$ ,每条经过建筑物的摄影光线都能得到一个交点集。

3) 将该交点集中不重复的交点记录到 Array- $G$  中,这些点即为被遮蔽点。

4) 按照地面索引的记录,利用反解法进行数字微分纠正,标记为遮蔽点的像素值赋为 0。

为了保证检测的准确性,需要将移动高程面的间隔设置得较小,以保证能计算出完整的遮蔽点集,然而这样将会导致算法运行时间的增加。为此,需将本算法进一步优化。由于纠正范围内的建筑物高程值都能通过矢量建筑物模型(如 DBM)获取,若将这些高程值所在的高程面取代

移动高程面,则可以大大提高算法的效率,同时还能保证检测结果的精确。

当地形非常复杂时,利用该方法进行迭代求解会存在迭代不收敛的情况。如图 4 所示,建筑物周围出现了较陡的山坡,并且较低地形也分布在其周围。OA 为经过建筑物墙面 S 点的摄影光线,与最低高程面  $Z_{\min}$  交于 A 点, A' 为 A 点平面坐标内插出的 DSM 点, A'' 为 A' 的高程值代入直线方程得到的坐标点, A''' 为 A'' 点内插出的 DSM 点。当 A''' 点的高程等于  $Z_{\min}$  时,迭代求解时会循环得到 A-A'-A''-A''' ,无法收敛至真实交点( S' 点)。因此,当建筑物周围同时出现上述较为复杂的地形时,迭代求解可能无法收敛。一般的城市地区,出现这种复杂地形的情况很少,本算法能适用于一般情况城市地区建筑物遮蔽检测。

在检测出了建筑物对其他地物的遮挡后,如果相邻影像上具有遮蔽区域的纹理信息,可以利用这些信息对当前影像的遮蔽区域进行补偿。

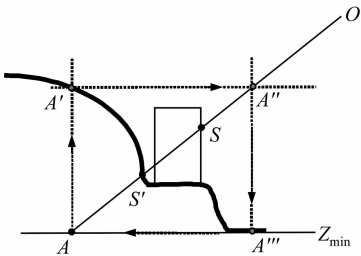


图 4 非常复杂地形出现的迭代不收敛情况  
Fig. 4 Iteration May not Converge when the Terrain Is very Complex

2 遮蔽区域的补偿

理想的相邻影像像素补偿方式是选取具有航向及旁向重叠的相邻影像,这样视角越丰富,就越能获取更多的缺失像素。待补偿的正射影像称为主影像,缺失像素的补偿来源影像称为副影像<sup>[8]</sup>。需要注意的是,这时的副影像同样需要按照主影像的流程进行正射纠正和遮蔽检测。当主影像上被遮蔽的像素能在多个相邻副影像上获取时,此时需要选取投影差改正较小区域的对应像素作为可靠的补偿点<sup>[5]</sup>。一般地,距离地底点越近,投影差越小,像素值也越可靠<sup>[5]</sup>。因此,补偿的原则是选取距遮蔽点距离最近的地底点所在副影像的对应像素:

$$i = \arg \min d(N(i), P), P \in \Phi_v(i) \quad (2)$$

式中,  $i$  表示副影像的序列号;  $N(i)$  表示第  $i$  幅副影像上的地底点;  $P$  表示当前主影像上的被遮蔽

的地物点;  $\Phi_v(i)$  表示第  $i$  幅副影像上的可见区域;  $d(N(i), P)$  表示每幅副影像的地底点与该地物点的距离。最小距离对应的副影像上该地物点的有效像素值(即可见像素)将被选为最佳像素,并修复到当前主影像上的相应遮蔽点处。

然而,在建筑物较为拥挤、飞行高度较低等的情况下,利用相邻影像重叠信息仍然不能完整地对遮蔽区域进行补偿<sup>[5]</sup>,此时可以根据需要选择其他纹理修复方法来保证影像的完整。

3 实验结果与分析

本文选取了 10 272 m<sup>2</sup> 范围的昆明城市地区彩色航空影像作为实验数据,影像中建筑物具有较为复杂的多层及附属结构,便于检验算法的可靠性。相机的内方位元素及影像的外方位元素均已知, DBM 模型与 DTM 模型由 VirtuoZo 软件量测得到, DSM 模型由 DBM 与 DTM 融合而成。其中,最低高程 1 905. 40 m,最高高程 1 930. 66 m,移动高程面间隔设为 2. 7 m,迭代限差为 0. 05 m。

3.1 遮蔽检测实验分析

基于以上实验数据,分别对基于角度和高程的射线追踪法、Z-buffer 方法,与本文提出的算法进行了实验比较。为了方便比较,需要保证三种方法不受模型精度的影响。实验中,对射线追踪法使用的栅格数据的网格间隔加密至了 0. 2 m。

如图 5 所示,图 5(b)为用传统方法纠正的结果,其中出现了重影问题。图 5(c)中射线追踪搜索间隔  $d_{SAP}$  为 1 m,由于间隔较大,该方法对于细节处,如房屋附属部分的检测结果还不够精确。

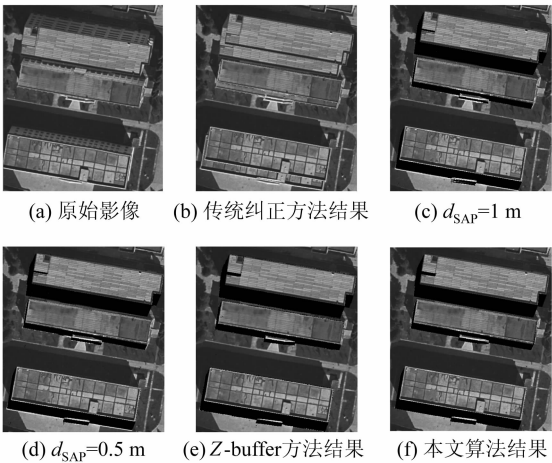


图 5 含遮蔽检测的正射纠正实验结果比较  
Fig. 5 Comparison of the Generated True Orthophotos with Different Methods

图 5(d)中搜索间隔  $d_{SAP}$  为 0.5 m,其细节部分的精度有了提高,但在房屋边缘处的检测还不够精确。图 5(e)为 Z-buffer 方法的检测结果,可以看出,其整体精度较好,但该算法更易受模型量测精度的影响,在边缘处出现了一些误检测点。图 5(d)为本文算法的结果。图 6 为细节放大对比图,圆形区域为射线追踪法和本文方法的对比,矩形区域为 Z-buffer 与本文方法的对比,可以明显看出,本文算法较其他两种算法细节检测完整,边缘处的信息也检测得更加平滑、准确。其主要原因是本文算法通过投影迭代直接获得每个地物的可见性,而 Z-buffer 算法的遮蔽关系为间接获得,中间转换步骤较多,精度较易损失。另外,本文算法使用建筑物表面矢量多边形进行投影,能精细完整地确定遮蔽区域,而射线追踪法结果的精度和搜索间隔有关,更容易漏掉细小的特征。

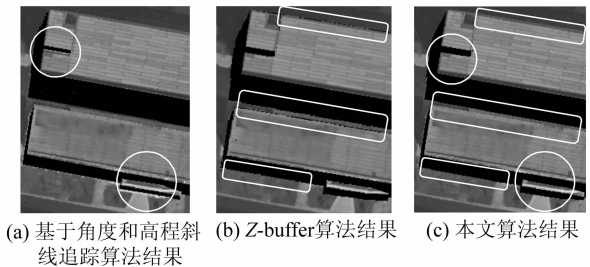


图 6 结果细节放大图  
Fig. 6 Details of the Results

本文对提出的移动高程面算法进行了优化。实验分别对该优化算法与 Z-buffer、基于角度和高程的射线追踪法以及优化前的移动高程面算法作了运算效率的比较。其中,角度和高程方法的射线追踪搜索间隔分别设为 1 m、0.5 m 和 0.2 m。

各种算法的运行时间如图 7 所示。本文移动高程面算法(HPI-MP)小于射线追踪法(AHR)

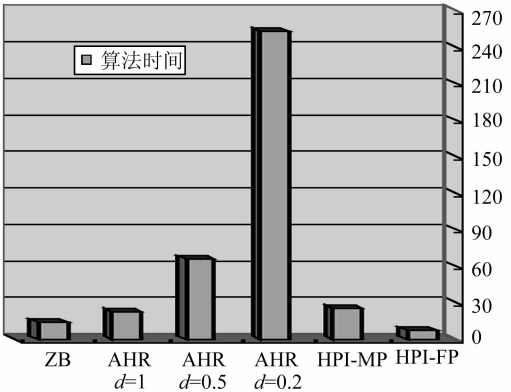


图 7 各算法运行时间比较  
Fig. 7 Comparison of the Efficiencies with Different Methods

$d_{SAP} < 1$  时的运行时间,尽管射线追踪法  $d_{SAP} = 1$  时的运行时间小于本文移动高程面算法,但此时该方法的检测精度也明显低于本文算法;另外移动高程面算法的运行时间大于 Z-buffer 方法,但同样本算法也能获得更好的检测精度;基于移动高程面的优化算法(HPI-FP)在能获得和原算法相同检测结果的前提下,算法时间大大减少,明显低于其他算法。从以上分析可以看出,本文所提出算法及其优化算法不仅具有良好的检测准确性,还具有较高的运行效率。

利用该遮蔽检测算法,本文还对与该影像同区域的另外 3 幅相邻影像进行了遮蔽检测,生成了 3 幅正射影像作为副影像,其结果如图 8 所示。

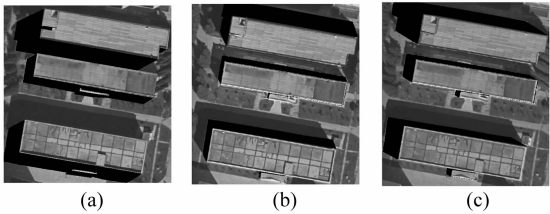


图 8 其他相邻影像的遮蔽检测纠正结果  
Fig. 8 True Orthophoto that Generated by the Neighboring Images

3.2 遮蔽地区的纹理补偿

本文利用图 8 所示的三幅副影像,选取各重叠区域中可靠性最高的像素来补偿主影像对应的缺失信息,其补偿结果如图 9 所示。由于利用真实数据补偿,该结果为最可靠的真正射影像。但从图中可以看出,影像上仍然存在“黑色”的未补偿区域,这主要是由于相邻建筑物间隔较小,中间的一部分地面遮蔽区域无法在其他副影像上得到。如果需要填补这些未补偿区域,可利用其他技术进一步修复<sup>[13-14]</sup>。

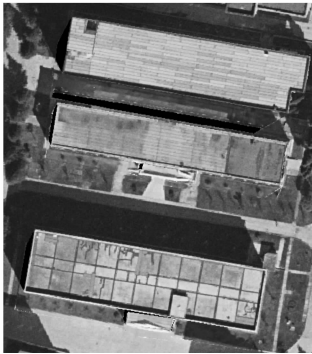


图 9 相邻正射影像补偿结果  
Fig. 9 Occlusion Compensation Result by the Neighboring True Orthophotos

## 参 考 文 献

- [1] Habib A F, Kim E, Kim C. New Methodologies for True Orthophoto Generation[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2007, 73(1): 025-036
- [2] 张祖勋. 由数字摄影测量的发展谈信息化测绘[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 32(7): 111-115
- [3] 张祖勋. 从数字摄影测量工作站(DPW)到数字摄影测量网格(DPGrid)[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(7): 565-571
- [4] Schickler W, Thorpe A. Operational Procedure for Automatic True Orthophoto Generation[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998, 32(part4): 527-532
- [5] Zhou G W C, Kelmelis J A, Zhang D. A Comprehensive Study on Urban True Orthorectification[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43(9): 2 138-2 147
- [6] Kerschner M. Twin Snakes for Determining Seam Lines in Orthoimage Mosaicking[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 33(4): 33-36
- [7] Amhar F. The Generation of True Orthophotos Using a 3D Building Model in Conjunction with a Conventional DTM[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998, 32(Part4): 16-22
- [8] Rau J, Chen N, Chen L. True Orthophoto Generation of Built-up Areas Using Multi-view Images[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2002, 68(6): 581-588
- [9] Bang K I. Comparative Analysis of Alternative Methodologies for True Ortho-photo Generation from High Resolution Satellite Imagery[C]. ASPRS 2007 Annual Conference, Tampa, Florida, 2007
- [10] 王树根. 正射影像上阴影和遮蔽的成像机理与信息处理方法[D]. 武汉: 武汉大学, 2003
- [11] Wang Xiao, Jiang Wanshou, Bian Fuling. Occlusion Detection Analysis Based on Two Different DSM Models in True Orthophoto Generation[C]. The 16th International Conference on Geoinformatics. Guangzhou, 2008
- [12] 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1996
- [13] Bertalmio M, Vese L, Sapiro G, et al. Simultaneous Structure and Texture Image Inpainting[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(8): 882-889
- [14] Shao Xiaowei, Liu Zhengkai, Li Houqiang. An Image Inpainting Approach Based on the Poisson Equation[C]. The Second International Conference on Document Image Analysis for Libraries, Lyon, France, 2006

第一作者简介: 王潇, 博士生。主要从事数字摄影测量, 真正射影像等方面的研究。

E-mail: wclearwaters@hotmail.com

## A New Method for True Orthophoto Generation

WANG Xiao<sup>1</sup> JIANG Wanshou<sup>1</sup> XIE Junfeng<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,

Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** This paper proposed a new occlusion detection method for the true orthophoto generation that the primary problem is converted to computing the intersection points of the rays and horizontal planes by the rasterizing and iterating strategy. A moving horizontal plane is also applied to a completed detection, which includes examining the occlusions caused by the buildings' hiding each other. The experiments with the color aerial image data of the Kunming city shows that comparing with other two representative methods, this method can obtain more accurate results, and meanwhile the efficiency is satisfied. Additionally, the neighboring images are used for occlusion compensation, and finally the true orthophoto is generated.

**Key words:** occlusion detection; projection to the plane; iteration; pixel compensation