

# 三维可视化工程设计的研究

张祖勋<sup>1</sup> 郑顺义<sup>2</sup> 张剑清<sup>1</sup>

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

(2) 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:** 首先提出利用正射影像及其立体匹配片组成的立体正射影像对作为建立地形三维立体模型的基础, 并介绍了立体匹配片的原理, 接着实现了两种类型立体匹配片的制作和镶嵌, 利用镶嵌之后的正射影像及其立体匹配片可以构建大范围地形的三维立体模型, 从而建立三维工程设计平台应用于工程设计, 并对该平台的量测性能进行了测试。最后介绍了该技术在输电线路设计、交通线路设计等具体工程设计领域的实际应用。

**关键词:** 三维可视化工程设计; 正射影像; 立体匹配片; 立体正射影像对; 镶嵌

中图法分类号: P237.9; P231.5

无论是纸质地图, 还是数字地图, 都包括 DEM, 就其数学基础和表现形式的实质而言, 它们只是实现了在各种二维介质平面上对实际三维地形表面的表示和描述, 而且到目前为止, 工程设计也都是在这些二维“地图”上进行, 地形、地貌以及地物在二维地图上通过等高线、地物边界线或特定符号表示。这种表示很不直观, 有时需要有一定的地图学知识和经验才能正确地判断地形或地貌的特征; 其次, 二维线划地图对于地物、地形的细节也难以精确表达。这些都给工程设计带来了一定的困难。于是, 在三维真实感立体模型上进行工程设计, 使设计过程和设计结果可视化一直是工程设计人员的梦想和追求的目标。利用二维平面表示三维, 人们首先想到的是透视图, 但是, 透视图的不可量测性, 尤其是对于消隐掉的部分更是无能为力, 这就决定了透视图无法应用于工程设计。摄影测量为研究制作具有高度真实感的可量测的地形三维立体模型, 实现三维可视化工程设计提供了可能。

## 1 三维可视化基础

目前, 二维“地图”(包括影像)和 DEM 是所有工程设计的基础。所以, 将“影像地图”与 DEM 有机地结合起来, 建立既具有比地图强的量测功能, 又具有三维可视化的立体模型, 是实现三维可

视化工程设计的关键。

正射影像图比地图更加现实和全面地显示实地环境, 而且具有“正射”的特性, 再辅以立体匹配片就可以进行立体观测, 犹如身临其境, 从而更容易地进行地形、地貌、地物的判读, 更重要的是还可以拼接, 建立大范围地区的立体模型。这些特性都使其非常适用于工程设计。

立体匹配片的原理是将 DEM 的高程转化为视差值, 并引入正射影像, 从而产生立体效果。其最简单的方法是利用投射角为  $\alpha$  的平行光线法, 如图 1 所示。这时, 人造左右视差值  $\Delta X$  为:

$$\Delta X = \Delta Z \cdot \tan \alpha = k \cdot \Delta Z$$

式中,  $k = \tan \alpha$ 。

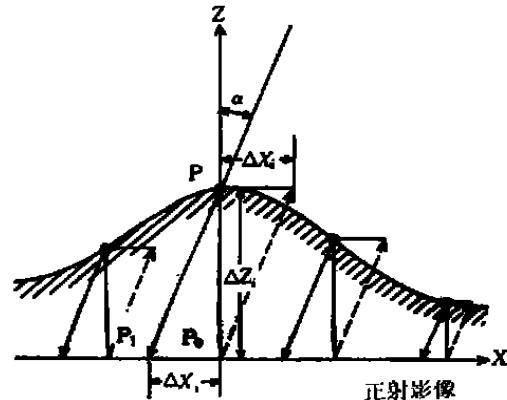


图 1 立体匹配片原理

Fig. 1 Theory of Stereo-mate

该人造视差值直接反映了实地高差的变化, 以地面点  $P$  为例, 它相对于投影面的高差为  $\Delta Z$ , 该点的正射投影为  $P_0$ , 斜平行投影为  $P_1$ , 正射投影得到正射影像, 斜平行投影得到立体匹配片。立体观测得到左右视差  $\Delta P = P_1 P_0$ 。

由于斜平行投影方向平行于  $XZ$  面, 所以正射影像和立体匹配片的同名点坐标仅有左右视差, 而没有上下视差, 这就满足了立体观测的先决条件, 从而构成了理想的三维立体设计量测环境。在这样的影像对上进行立体量测, 既可以保证点的正确平面位置, 又可方便地解求出点的高程。

## 2 两种类型立体匹配片的产生与镶嵌

根据产生的方式不同, 立体匹配片有两种类型, 可以根据不同的需要选择使用。

1) 立体匹配片可以实现地形的三维可视化与量测。其生成的原理如前所述, 只需要 DEM 和正射影像, 直接把 DEM 转为视差值引入正射

影像, 对正射影像进行重采样, 生成另外一张影像, 即立体匹配片。

这里, DEM 的获取途径可以是工程测量、等高线数字化、航空摄影测量等。正射影像的获取途径有航空影像、卫星影像等。DEM 和正射影像的获取都有多种途径, 且相对容易获取, 但这种类型的立体匹配片的缺点是虽然平面位置准确, 但其高程量测只得到 DEM 的高程, 对于地形的细部无法量测。

2) 立体匹配片可以实现地形全要素的三维可视化与量测, 不仅包括地形, 还包括地形细部, 如房屋、树木、电杆等, 产生这种类型的立体匹配片需要 DEM 和原始的航空影像, 其优点在于准确地量测  $X, Y, Z$  坐标, 尤其是修正 DEM 的错误。

产生第二种类型立体匹配片的原理是, 在生成正射影像的同时, 用另一张航空影像按一定规则同时自动生成立体匹配片。如图 2 所示, 图中每个方框, 代表一张原始航空影像, 每相邻两张原始航空影像组成一个像对, 用每个像对的左片生成正射影像, 右片生成立体匹配片。

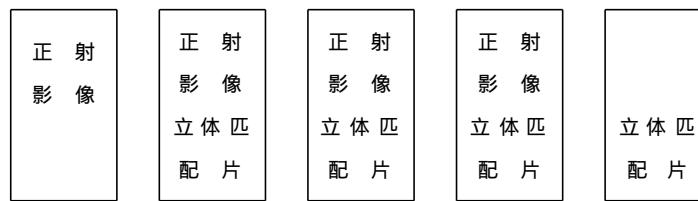


图 2 第二种类型立体正射影像对生成与镶嵌匹配片

Fig. 2 Production and Mosaic of Orthophoto and Its Second Type Stereo-mate

这样产生的正射影像与相应的立体匹配片所构成的立体, 不仅能恢复地形的立体, 而且能恢复房屋、树木、输电塔等一切高出地面的人工建筑物的立体。这既保留了所有的立体信息, 同时也具有正射影像的特性。把相邻的正射影像和立体匹配片镶嵌起来, 就构成大范围地形的三维立体模型, 应用于工程设计。

## 3 量测性能

### 3.1 量测原理

利用正射影像及其立体匹配片组成的立体正射影像对进行量测, 首先将立体匹配片转为正射影像, 这样就产生了同一区域的正射影像对 (orthophotos), 该正射影像对包括两张正射影像, 分别由左右原始影像生成, 利用正射影像对进行量测的过程如图 3 所示。首先在左片选择要量测的点 ( $P'$ ), 然后在右片选择 (或匹配) 同名点 ( $P''$ )。

根据  $P'$  和  $P''$  两点的像点坐标, 可以求得其空间坐标的平面位置 ( $X', Y'$ ) 和 ( $X'', Y''$ ), 然后利用 DEM 可以内插出它们的高程 ( $Z', Z''$ )。利用两组空间坐标 ( $X', Y', Z'$ ) 和 ( $X'', Y'', Z''$ ) 解算出左右原始影像的像点坐标 ( $x', y'$ ) 和 ( $x'', y''$ ), 如果解算正确的话, 这两组像点应该是同名点。利用已知的内定向和外定向参数可以前方交会出真正的空间坐标 ( $X, Y, Z$ )。不难看出, 上述解算过程独立于 DEM 的高程精度, 也就是说, 即使 DEM 高程错误, 上述过程也可以实现, 也可以解出正确的空间坐标 ( $X, Y, Z$ )。

从理论上讲, 如果正射影像和立体匹配片的像素大小与原始影像的像素大小相同, 利用上述方法进行坐标量测可以获得与用原始影像量测同样的精度<sup>[5]</sup>。

上面讨论的是如何通过影像坐标求得空间坐标。有时, 已知空间坐标需要确定其在正射影像上的位置, 这就需要解算影像坐标。解算影像坐

标是一个迭代的过程。以左片为例, 解算过程如图4所示, 右片的解算过程按以下步骤进行。

- 1) 根据已知的空间坐标( $X, Y, Z$ )解算原始影像上的像点坐标( $x, y$ );
- 2) 根据空间坐标的 $Z$ 和原始影像坐标( $x, y$ ), 解算出新的平面坐标( $X_1, Y_1$ );
- 3) 根据平面坐标( $X_1, Y_1$ )利用DEM内插出 $Z_1$ ;

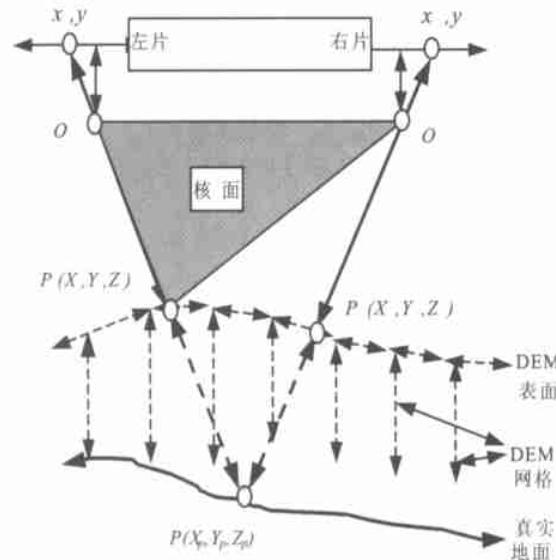


图3 由影像坐标解算空间坐标

Fig. 3 Determination of Three-Dimensional Object Coordinates from Ortho-images Coordinates

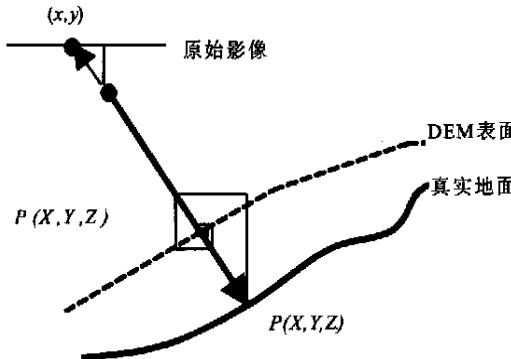


图4 由空间坐标解算影像坐标

Fig. 4 Determination of Ortho-images Coordinates from Three-Dimensional Object Coordinates

- 4) 重复步骤2)、步骤3), 直到 $|Z_n - Z_{n-1}| < \Delta$ 时结束,  $\Delta$ 是一个阀值;
- 5) 解算( $X_n, Y_n$ )在正射影像上的像点坐标, 即空间坐标( $X, Y, Z$ )在正射影像上的位置, 如果是右片, 则需要根据内差DEM获得的高程值引入一定的左右视差。

### 3.2 量测性能

本文对第二种立体匹配片的量测精度进行了测试, 并与商业摄影测量系统 VirtuoZo 的测图模块 IGS 比较, 结果如下。

① 测试数据。Cross 测区中某航带(黑白影像、1:3 000摄影比例尺、25μ 扫描分辨率、城区地貌);选取其中两个模型, 生成正射影像及其相应的立体匹配片。

② 测试内容。分别在 IGS 测图模块和立体匹配片测图模块中, 测取相同的点, 比较两者的坐标差值; 以 IGS 测取的坐标为标准, 检验立体匹配片测图的量测精度。

③ 测试总点数。37(含地面点和房屋上的点, 1~23号点为测区的地面点; 24~37号点为房屋上的点)。

测试结果如表1所示。

表1 立体正射影像对的量测精度/m

Tab. 1 Measurement Accuracy of Stereo Ortho-images/m

	X	Y	Z
最大误差	0.12	0.16	0.25
中误差	0.0648	0.0864	0.1148

征求设计部门的意见, 这样的量测精度可以满足绝大多数设计的要求。

## 4 三维可视化环境下的设计功能

### 4.1 输电线路设计

1) 路径优化(拐点设计)。在输电线路设计中, 线路走向的选择不仅直接关系到工程设计的造价, 而且影响整个工程设计的质量。因此, 路径优化在电力设计中有着举足轻重的作用。而长期以来, 输电线路设计软件只能在单个模型上进行设计, 无法满足路径优化所需的显示长大影像的要求。本文利用以上讨论的三维可视化技术开发了“电力设计路径优化系统”, 该系统最大的优点是可以显示大范围地形的立体模型, 尤其是可以立体显示树木、建筑物等各种地物, 并量测其高度, 这样就可以从全局角度进行路径的选择, 并且通过量测可以绕过一些应该绕过的地物。

图5是利用“电力设计路径优化系统”所选出的实际的输电线路(地区: 天广线, 航摄比例尺为1:1万)。

2) 平断面设计。利用本文所讨论的三维可视化技术建立的输电线路平断面设计软件

(EP Mapper), 改变了以往平断面设计只能在单个模型上进行的状况, 目前可以一次完成一条线路或一个区段。

#### 4.2 铁路、公路选线设计

到目前为止, 无论在国内还是在国外, 铁路、公路选线设计基本上仍然是在二维线划图上进行。基于本文以上的研究, 开发了三维可视化铁路选线设计平台 3Droad, 3Droad 是一个基于 Windows 95/98/NT 平台下的三维道路设计量测系统, 本系统具有以下功能。

- 地形的三维可视化;
- 大数据量立体影像的显示和漫游;
- 三维立体环境下的道路选线设计, 包括平面设计、纵断面以及路基的设计;
- 设计结果的三维可视化;
- 距离、角度和面积等各种量测;
- 与 AutoCAD 集成。



图 5 三维立体环境下的输电线路路径优化

Fig. 5 Route Design of Power Line by Three-Dimensional Visualization

利用 3Droad 开发了一个例子, 如图 6 所示, 上半部分左边是正射影像, 右边是匹配片, 如果叠加显示, 可以更好地看到立体效果; 下半部分是用该系统设计的道路横断面。整段线路包括两个曲线, 在路面和边坡都涂上了不同的颜色, 展示了交通线路修建后的面貌。

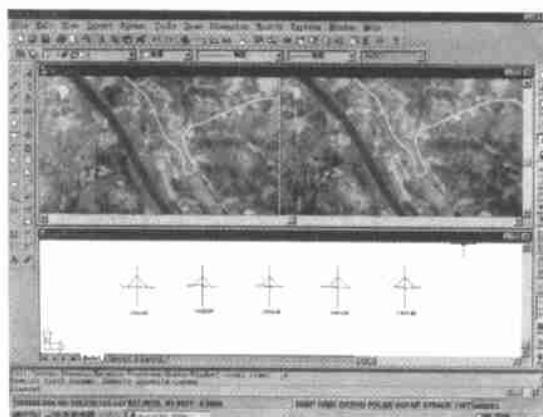


图 6 三维立体环境下的交通线路选线设计

Fig. 6 Road Design by Three-Dimensional Visualization

## 5 结语

目前, 利用数字摄影测量采集地形资料已越来越普遍, 利用数字摄影测量系统生成正射影像和立体匹配片, 并进行镶嵌, 建立长大范围地形的三维立体模型, 然后在地形三维立体模型上进行工程设计已经显示出其明显的优越性, 并逐步地被工程设计人员所接受, 可以想像三维可视化工程设计必将会影响和改变传统的基于二维“地图”的工程设计。

## 参 考 文 献

- 1 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, 1997
- 2 徐青. 地形三维可视化技术. 北京: 测绘出版社, 2000
- 3 王之卓. 摄影测量原理. 北京: 测绘出版社, 1979
- 4 李德仁, 郑肇葆. 解析摄影测量学. 北京: 测绘出版社, 1992
- 5 Baltsavias E P. Digital Ortho-images —— a Powerful Tool for the Extraction of Spatial and Geo-information. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1996, 51(2): 63~67
- 6 Thoma K, Willam O'S. Project Swissphoto Digital Orthophotos for the Entire Area of Switzerland. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1996, 31(B2)
- 7 Manuel J, José Vilchez, Leira Chaén. Digital Orthophoto Generation. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 33(B4)
- 8 Yeu B-M, Kim E-M, etc. Generation of Digital Orthophoto for Urban Area Using Digital Building Model. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 33(B4)
- 9 Hood J. Image Processing Techniques for Digital Orthophotoquad Production. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1989, 55(9): 1 323~1 329
- 10 Manzer G. Maximizing Digital Orthophoto Use: A Technical Overview. GIS World, 1995, 8(12): 50~51
- 11 Nale D K. How Accurate is Digital Orthophotography? GIS World, 1995, 8(12): 50~55
- 12 Novak K. Rectification of Digital Imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1992, 58(3): 339~344
- 13 Höhle J. Experience with the Production of Digital Orthophotos. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1996, 62(10): 1 189~1 194
- 14 Al-Rousan N, Cheng P, Petrie G, et al. Automated DEM

Extraction and Orthoimage Generation from SPOT 1B Imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 1997, 63(8): 965~974

15 Afek Y, Brand A. Mosaicking of Orthorectified Aerial Images. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 1998, 64(2): 115~125

16 Harold S L. Costs of Softcopy Orthophoto Bases for GIS

Projects. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 1996, 51(4): 182~187

作者简介: 张祖勋, 教授, 博士生导师, 欧亚科学院院士。现从事摄影测量与遥感方面的研究。代表成果:《全数字摄影测量系统 VirtuoZo》;《数字摄影测量》, 等。

E-mail: zxzhang@supresoft.com.cn

## Three-Dimensional Visualization Engineering Design

ZHANG Zuxun<sup>1</sup> ZHENG Shunyi<sup>2</sup> ZHANG Jianqing<sup>1</sup>

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

(2) National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

**Abstract:** Up to now, almost all civil engineering design has been implemented on two-dimensional maps including line map, digital terrain model, etc. Terrain, physiognomy and objects are expressed with lines and specific symbols on these two-dimensional maps, and sometimes some knowledge and experience of cartography is required to correctly identify the character of terrain and physiognomy. In addition, two-dimensional line maps can not accurately and detailedly express the features of terrain and physiognomy. For these reasons civil engineers always dream to design on three-dimensional stereo environment and continuously struggle for the goal. To meet such requirement, three-dimensional visualization engineering design is studied in this paper. It is widely known that a three-dimensional stereo model of terrain can be built by using stereo ortho-images including an orthophoto and its stereo-mate. Such a three-dimensional stereo model can not only be viewed stereoscopically, but also be measured. In addition, with the development of digital photogrammetry, the ortho-images can be produced automatically and rapidly. So, firstly, this paper uses stereo ortho-images to build the three-dimensional stereo model of terrain as three-dimensional the designing environment. According to the requirement of original data and measurement performance, stereo ortho-images can be classified into two categories and the production and mosaic of two kinds of orthophoto stereo-mate have been described. Because measurement accuracy is one of the performances being most concerned in civil engineering design, the emphasis is placed on the measurement performance of stereo ortho-images. This paper discusses both the measurement theory and the measurement accuracy. Test results show that the measurement accuracy can reach a very high level that is enough to meet the requirement of civil engineering design. Three-dimensional engineering design and measurement platform has been built on large-ranged three-dimensional stereo model produced by mosaic orthophoto and its stereo-mate. In the end, the application of this technology to specific engineering design fields is introduced. Compared to the conventional two-dimensional map-based civil engineering design, three-dimensional visualization civil engineering design system has the following characteristics: 1) Its measurement performance is good enough to be used in civil engineering design; 2) It provides better understanding and recognition of terrain features, objects and does good for protecting environment and farmlands; 3) Terrain features and ground objects can be viewed stereoscopically; 4) It provides convenience for decision; 5) It is easy to be combined with civil engineering design CAD software.

**Key words:** three-dimensional visualization engineering design; orthophoto; orthophoto stereo-mate; stereo ortho-images; mosaic

**About the author:** ZHANG Zuxun professor, Ph. D. supervisor, member of Euro-Asia International Academy of Science. His research fields include photogrammetry and remote sensing. His representative achievements are A Fully Digital Photogrammetry System-VirtuoZo, Digital Photogrammetry, etc.

E-mail: Zxzhang@Supresoft.com.cn

## 《地球空间信息科学学报》2001年被俄罗斯《文摘杂志》收录情况

俄罗斯《文摘杂志》2001年度收录《地球空间信息科学学报》《Geo-spatial Information Science》所发论文的摘要计10篇,它们分别是:

Zhang Jianqing, Zhang Zuxun, Fang Zhen, Fan Hong: Change Detection from Aerial Images Acquired in Different Durations, 1999, 2(1): 16~20

Li Deren, Wang Yandong, Zhu Qing, Gong Jianya: Data Model and Visualization of 3D City Landscape Based on Integrated Database, 1999, 2(1): 21~25

Liao Mingsheng, Zhang Zuxun, Zhang Li, Zhang Jianqing: The Study on Automatic Registration of InSAR Images, 1999, 2(1): 30~34

Zhang Li, Liao Mingsheng, Zhang Zuxun, Zhang Yong: The Coherence Coefficient Map and Residue Guided Least Square Phase Unwrapping Algorithm, 1999, 2(1): 55~62

Fan Hong, Zhang Jianqing, Zhang Zuxun, Liu Zhifang: House Change Detection Based on DSM of Aerial Image in Urban Area, 1999, 2(1): 68~72

Guo Bingxuan, Li Deren, Lei Ting, Wang Mi: Development of ITS and Applications of 3S in ITS, 1999, 2(1): 86~89

Yang Jie, Liao Mingsheng, Yang Wen, Zhang Li: A Piecewise Based High-precision Registration of InSAR Data, 1999, 2(1): 100~103

Zhang Jingxiong, Roger P. Kirby: An Improved Algorithm for Supervised Fuzzy  $c$ -means Clustering of Remotely Sensed Data, 2000, 3(1): 39~44

Zhu Qing, Li Zhilin, Gong Jianya, Sui Haigang: The Scheme for the Database Building and Updating of 1:10 000 Digital Elevation Models, 2000, 3(2): 19~25

Di Kaichang, Li Deren, Li Deyi: Remote Sensing Image Classification with GIS Data Based on Spatial Data Mining Techniques, 2000, 3(4): 30~35