文章编号:1671-8860(2007)11-0950-05　　**文献标志码**:A

无缝立体正射影像数据库的概念、原理及其实现

李德仁[1]　王　密[1]　潘　俊[1]　胡　芬[1]

(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:为了充分地开发和利用航空摄影测量所形成的立体模型,在二维无缝正射影像数据库的基础上,提出了无缝立体正射影像数据库的概念,即在摄影测量所形成的区域范围内,利用原始影像、定向参数及 DEM,通过数字投影处理的方法,用无缝镶嵌的数字正射影像和立体辅助影像形成对摄影区域范围内无缝立体覆盖,即可以恢复摄影时记录的地形表面和地物碎部的三维信息,又可以通过立体观察设备进行无缝立体观察、浏览量测。为了方便立体观察、高精度立体量测和应用,对数字正射影像、立体辅助影像、像片定向参数及其 DEM 通过数据库的方式进行管理,形成区域范围内的无缝立体正射影像数据库。试验表明,无缝立体正射影像数据库具有良好的应用价值和应用前景。

关键词:无缝立体正射影像数据库;数字正射影像;立体模型

中图法分类号:P231.5

航空摄影测量经过 100 多年的发展,经历了模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量三个发展阶段[1]。基于像片对的立体模型是摄影测量的核心和基础,通过模拟、解析或数字的方法恢复立体模型,然后在模型上进行立体量测采集地物、地貌数据,形成数字正射影像、数字地面模型和线划图产品,是摄影测量的一个主要特征[2-4]。通常,对于航空摄影测量立体模型的开发和应用仅仅局限于立体测图或立体判读应用,在获取有限的用户感兴趣的信息后,立体模型基本上就没有再被使用了[5]。

航空摄影测量是通过以立体模型为单元实现对摄影区域范围进行立体覆盖的,立体模型与模型之间存在着立体重叠范围,但是由于影像是以中心投影的方式获取的,在立体模型的重叠区域范围内无法实现像影像镶嵌那样进行无缝的镶嵌处理。如果能够通过数据处理的手段,通过数字正射影像和立体辅助影像分别以正射投影和辅助投影的方式对摄影区域进行无缝覆盖,即能恢复摄影时地形表面所有的地形和地物信息,又能进行立体观察和立体量测,然后通过数据库的方式对数字正射影像和立体辅助影像以及像片参数和 DEM 进行建库和管理,形成无缝立体影像数据库,通过立体无缝影像数据库提供一个可量测的无缝空间立体模型。另外,通过无缝立体正射影像数据库可以真实地再现摄影时地形表面的三维信息,在某种意义上也可以为地形可视化提供一个经济、有效的补充手段。为此,本文提出了无缝立体正射影像数据库的概念。

1　无缝立体正射影像数据库的概念和基本原理

1.1　无缝立体正射影像数据库的概念

无缝立体正射影像数据库是在摄影测量所形成的区域范围内,利用原始影像及其定向参数、DEM,通过投影处理的方法,用无缝镶嵌的数字正射影像和立体辅助影像形成对摄影区域范围内的无缝立体覆盖。它可以恢复摄影时记录的地形表面和地物碎部的三维信息,通过立体观察设备可以进行无缝立体观察和浏览。为了方便立体观察、高精度立体量测和应用,对数字正射影像、立体辅助影像、像片定向参数及其 DEM 利用数据库进行管理,形成无缝立体正射影像数据库。

收稿日期:2007-08-23。

项目来源:国家 973 计划资助项目(2006CB701300);国家科技部科技支撑计划资助项目(2006BAB10B01-B);国家自然科学基金资助项目(40201044)。

1.2　立体无缝影像数据库的基本原理

为了满足立体量测和测图的需要，航空摄影测量通过在摄影时航向和旁向重叠形成了对摄影区域的立体覆盖，这种立体覆盖是通过中心投影形成的立体像对构成的，像对与像对之间具有重叠，具体地讲，地面上的每个点在不同的投影中心成像至少两次。由于中心投影的透视特点，每个成像的像点都是经过投影中心成像的，这样使得相邻立体模型之间即便存在立体重叠，也无法进行像正射影像镶嵌那样的无缝镶嵌处理。

中心投影影像存在几何变形，为了方便使用，通常都要经过几何纠正处理转化成正射投影。如果在正射投影的基础上形成一个与正射投影具有视差关系的辅助投影，如果视差的大小与地形起伏相一致，通过立体观察仍然可以恢复地形表面的立体几何模型，进而可以进行立体量测。为此，Collins 等人进行了相关的研究[5-10]，提出了立体正射像片对的概念，对于一个像对的一张像片制作数字正射影像，另一张制作立体辅助影像，通过正射影像和立体辅助影像恢复地形表面的三维信息。

由于传统的正射影像制作没有考虑地物碎部投影差的改正，因此，地物碎部的投影差仍然完整地包含在一个像对的左右正射影像中。因此，在制作的过程中充分利用这个特性，使得正射影像和立体辅助影像的同名像点分别来自原始立体影像对的左右影像，这样，地形表面的地物碎部信息得以全部恢复，对于地形起伏信息的恢复，利用 DEM 通过正射投影和辅助投影的方式来恢复。

由于平行光投影不存在投影中心，所以对于一个区域来讲，具有投影范围无限扩展和无缝的特性，这为区域范围内的无缝立体覆盖奠定了基础。立体无缝正射影像数据库的基本原理是通过投影处理的方法，利用数字地面模型和原始的像片参数，分别通过正射投影和一个与正射投影具有一定视差的辅助投影的方式实现对摄影区域范围无缝的立体覆盖，正射投影通过正射影像来实现，立体辅助投影通过立体辅助影像来实现，然后对数据进行建库加以管理，形成无缝立体正射影像数据库[11]。

图 1 是无缝立体正射影像数据库的原理，辅助投影和正射投影具有 α 角度，图中显示的是正射投影和辅助投影断面。

1.3　立体无缝影像数据库的高精度立体量测

与 ADS40 的立体量测原理类似，为了保证立体无缝正射影像数据库的高精度立体量测，在生成立体无缝正射影像数据库后，立体无缝影像数据库中除了保存正射影像和立体辅助影像外，还需要保存原始像片的方位元素和用于生成立体无缝正射影像数据库的 DEM，将在立体无缝正射影像数据库上量测的同名点对转换到原始立体像片对精确解算量测点的坐标[12,13]。

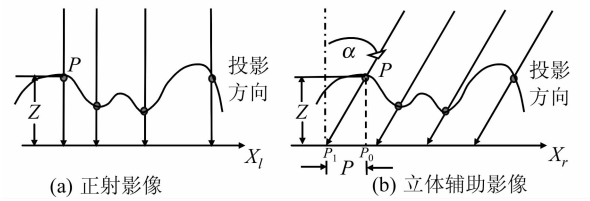


图 1　无缝立体正射影像数据库原理

Fig. 1　Principle of Seamless Stereo Orthoimage Database

2　立体无缝影像数据库的实现

2.1　正射影像和立体辅助影像的生成

无缝立体正射影像数据库的核心是生成数字正射影像和立体辅助影像，传统的数字正射影像的制作可以取立体重叠区域范围内的左右任意一个影像生成正射影像，但是，为了完整地恢复摄影时记录的地形表面的地形和地物三维信息，无缝立体正射影像数据库的生成对正射影像具有特殊的要求，必须保证制作无缝立体正射影像的每一对同名点来源于摄影时某个立体像对所构成的同名点，这样才能够保证地物碎部信息的完全恢复[12]。因此，立体无缝影像数据库生成的关键是对原始中心投影的立体覆盖在立体模型与立体模型之间进行严格的区域划分，划分的结果使得地面上的每个点都可以归属到一个立体模型中。图 2 是一个理想测区的像片分布图，以三条航带、每个航带 6 个模型为例来说明正射影像和立体辅助影像的生成过程。

如图 3 所示，正射影像和立体辅助影像的生成过程如下：① 按照数字微分纠正的方法，将连续航空摄影区域范围内的每一张原始航空数字影像制作数字正射影像；② 按照航空像片在航向方向的邻接关系，对摄影区域内的航空像片构建像对立体模型，同一航带内相邻的两张航空像片构成一个立体像对，由构成像对立体模型的左、右原始航空像片生成的正射影像分别作为该像对的左、右正射影像，像对立体模型的左、右正射影像构成该像对的立体正射影像；③ 取每个像对立体模型的左、右正射影像的重叠范围作为该像对

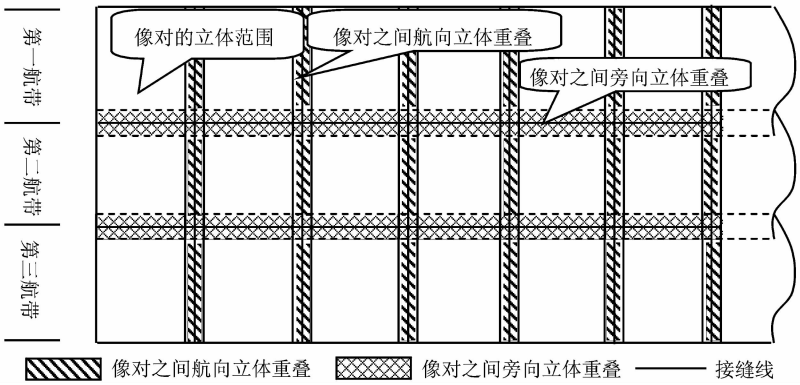


图2 原始像对立体模型的排列

Fig. 2 Arrangements of Photo-Pair Models

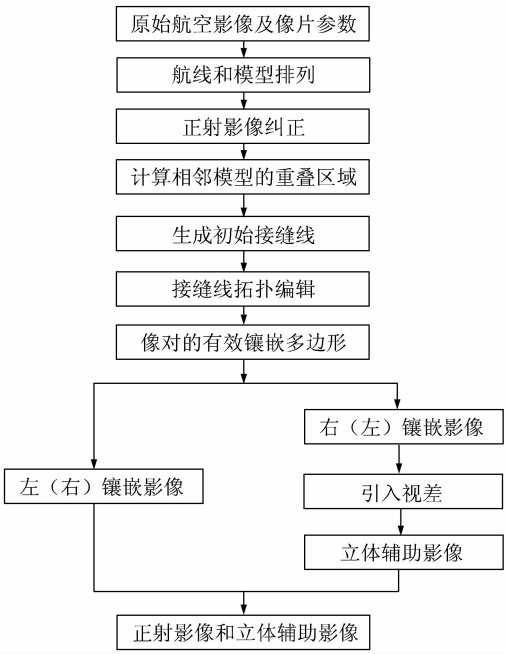


图3 正射影像和立体辅助影像的生成过程

Fig. 3 Generation Procedure of Orthoimage and Stereo Orthoimage Pair

立体模型的立体范围，立体范围的边界线作为该立体模型的边线；④ 航空摄影区域内，在航向和旁向上相邻的像对立体模型的立体范围的重叠区域包含相邻像对立体模型的公共范围，该范围是相邻像对立体正射影像的拼接区域；⑤ 在正射影像的拼接区域内任意选取相邻像对立体模型的分界线作为相邻像对立体模型的立体正射影像的接缝线，由分界线或分界线和边线围成的区域构成每个像对立体模型的有效镶嵌多边形，将每个像对立体模型的有效镶嵌多边形范围内对应的左、右正射影像分别进行镶嵌，生成无缝镶嵌的左、右正射影像；⑥ 对左镶嵌的正射影像，根据数字地面模型引入人工视差，生成立体辅助影像，由立体辅助影像和右镶嵌的正射影像构成所需的可量测无缝正射影像空间的立体模型；或者对右镶嵌的正射影像，根据数字地面模型引入人工视差，生成立体辅助影像。

2.2 立体无缝正射影像数据库的建库和管理

摄影测量的测区一般包含几百甚至上千个立体像对，生成的数字正射影像和立体辅助影像的数据量可多达几十甚至上百个GB，因此，必须通过数据库的方式进行建库、调度和管理，才能方便立体无缝正射影像数据库的应用。立体无缝影像数据库的建库目的主要是为了方便数字正射影像和立体辅助影像所形成立体模型的立体观察、量测和应用方便，分别对数字正射影像和立体辅助影像进行管理，同时为了高精度立体量测，还需要把制作数字正射影像和立体辅助影像的DEM和原始像片定向参数一同在数据库中加以管理。由于数字正射影像和立体辅助影像以及数字地面模型数据都是栅格数据，具体的管理方式和关键技术已进行了深入的研究，目前在技术上已经趋于成熟，主要是通过栅格分块、编码和金字塔结构来实现海量影像数据的管理，在实现上可以分别建立数字正射影像数据库和立体辅助影像数据库以及DEM数据库；对于原始像片参数数据，由于数据类型简单，可以通过常规的关系数据库中的表格进行管理[14]。

3 立体无缝影像数据库的试验分析

按照上面的原理和方法，分别采用了不同比例尺的航片数据进行了试验。下面给出了两组试验结果，试验数据参数见表1。为了验证前面的结论，每组数据正射影像的分辨率分别与各自原始影像的分辨率基本相同。

表 1　试验数据参数

Tab. 1　Parameters of Experimental Data

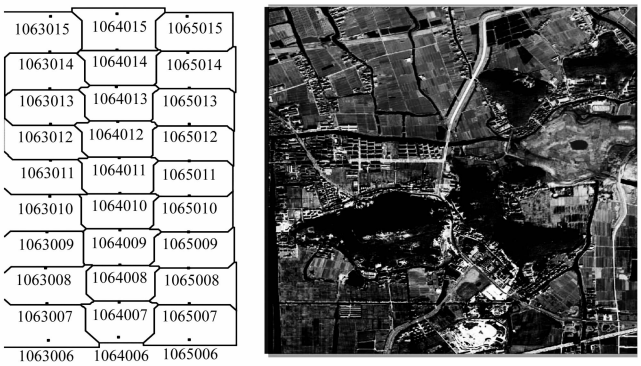
	第一组	第二组
摄影机主距	153.710 mm	304.034 mm
摄影比例尺	1∶25 000	1∶8 000
像片尺寸	23 cm×23 cm	23 cm×23 cm
像片类型	黑白	彩红外
像元尺寸	25 μm	25 μm
摄影平均航高	4 225 m	2 090 m
DEM 地面分辨率	12.50 m	5 m
正射影像地面分辨率	0.65 m	0.2 m
数据范围	5 条航带，每条航带 5 个模型	3 条航带，每条航带 9 个模型

3.1　无缝立体影像数据库生成试验

图 4 显示的是用第二组试验数据生成的无缝立体正射影像数据库的结果，图 4(a)显示了制作正射影像和立体辅助影像生成过程中形成的每个像对的有效镶嵌多边形，图 4(b)是无缝立体正射影像数据库通过红/绿互补色的方式表现的结果，通过红绿眼镜可以直接对立体模型进行观察。在对立体模型进行立体观察时，可以很逼真地看到各种地物地貌，并且可以进行无缝立体漫游，通过立体测标可以对感兴趣的地物和地貌进行量测。

3.2　无缝立体影像数据库与 GIS 数据库集成

由于无缝立体正射影像数据库提供了一个无缝的、可量测的立体环境，因此，可以将 GIS 数据库的矢量数据与无缝立体正射影像数据库进行集成，在立体无缝影像数据库环境下可以清楚地看到 GIS 数据与无缝立体正射影像数据库的复合情况，因此，可以方便地用于数据库的数据质量和现势性评估以及辅助数据更新等。如图 5 所示。



(a) 立体像对的有效镶嵌多边形　(b) 无缝立体正射影像数据库的立体表现

图 4　无缝立体正射影像数据库的生成试验

Fig. 4　Experiment for Establishing Seamless Stereo Orthoimage Database

图 5　无缝立体正射影像数据库与 GIS 数据库集成

Fig. 5　Integration of Seamless Stereo Orthoimage Database and GIS Database

4　结　语

从实用的角度考虑，将地理信息系统中的三维矢量数据通过正射投影和立体辅助投影很容易与无缝立体影像数据库进行集成，进而可以提供一个三维立体显示、量测、设计、分析和数据采集、更新的环境。它可以作为一个新的数字产品在许多行业得到广泛的应用，如林业工作者可借助它进行树高、树冠定量量测；地质工作者可进行三维立体解释与地质形状量测，电力、公路、铁路设计工程师可以建立一个带状的无缝立体正射影像数据库，在三维立体环境下进行线路纵横断面设计；城市规划工作者可在三维景观下做各种规划和设计，所有这些应用及其他可能的应用目前正在开发试验之中。目前，该成果已经应用到内外业一体化的三维采编和地图更新系统中。同时，对于城市变迁的记录，无缝立体正射影像数据库也提供了一个很好的手段，它的制作和生成自动化程度高、经济、快捷，它可以将摄影时地形表面的所有信息完全进行记录，比单纯的数字正射影像、DEM 和线划图的方式具有明显的优势。

参　考　文　献

[1]　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

[2]　王之卓. 摄影测量原理[M]. 北京：测绘出版社，1979

[3]　王之卓. 摄影测量原理续编[M]. 北京：测绘出版社，1986

[4]　李德仁，郑肇葆. 解析摄影测量学[M]. 北京：测绘出版社，1992

[5]　Collins S H. The Stereo-Orthophoto Pair[J]. Photogrammetric Engineering, 1972, 38(12): 1 195-1 202

[6]　Blachut T J. Further Extension of the Orthophoto

Technique[J]. The Canadian Surveyor, 1968, 22(1): 206-220

[7] Blachut T J, van Wijk M C. Production and Accuracy of Simultaneously Scanned Sterro-orthophoto [J]. Photogrammetric Engineering, 1976, 42(12): 1 521-1 528

[8] Blachut T J. The Stereo-Orthophoto Technique in Cadastral and General Mapping[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1976, 42(12): 1 511-1 519

[9] Collins S H. Stereoscopic Orthophoto Maps[J]. The Canadian Surveyor, 1968, 22(1): 167-176

[10] Collins S H. The Accuracy of Optically Projected Orthophotos and Stereo-Orthophotos[J]. The Canadian Surveyor, 1996, 24(5): 450-463

[11] Li Deren, Wang Mi, Gong Jianya. Principle of Seamless Stereo Orthoimage Database and Its Measurement Accuracy Analysis[C]. ISPRS Commission III Symposium, Graz, Austria, 2002

[12] 李德仁,王 密.一种基于航空影像的高精度可量测无缝正射影像立体模型生成方法及应用[J].铁道勘察,2004(1):1-6

[13] 王密,李德仁,龚健雅.一种基于数字正射影像和立体辅助影像的无缝立体模型的高精度量测方法[P/OL].2003-10-14[2004-09-15].http://www.patent-cn.com/G01C/CN1529127.Shtml.

[14] 王密.大型无缝影像数据库系统(GeoImageDB)的研制与可量测虚拟现实(MVR)的可行性研究[D].武汉:武汉大学,2001

第一作者简介:李德仁,教授,博士生导师,中国科学院院士,中国工程院院士,国际欧亚科学院院士。现主要从事以遥感、全球定位系统和地理信息系统为代表的空间信息科学与技术的科研和教学工作。代表成果:高精度摄影测量定位理论与方法;GPS辅助空中三角测量;SPOT卫星像片解析处理等。已发表论文400余篇。
E-mail:dli@wtusm.edu.cn

Conecpt, Principle and Implementation of Seamless Stereo Orthimage Database

LI Deren[1] *WANG Mi*[1] *PAN Jun*[1] *HU Fen*[1]

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

Abstract: The idea and concept of the seamless stereo orthoimage database in a continuous block area is put forward. The principle and implementation of stereo orthoimage database are presented. Based on stereovision of human's eyes, the main idea of seamless stereo orthoimage database is to generate a seamless digital orthophoto quadrangles (DOQ) database from DEM and odd photos and generate additionally a digital stereo orthophoto partner (DSP) from DEM and even photos, and a large area 3D virtual landscape environment can be formed without y-parallax. The database is called seamless stereo orthoimage database formed by DOQ and DSP together. In such environment, the 3D measurement and analysis can be done under the interface of normal GIS or CAD systems without complex DPW. The 3D objects, such as houses, trees, cloverleaf junctions, geologic ruptures, and so on, which are not acquired during data acquisition at DPW, can be measured by end user himself. The case study and some potential applications are given at last.

Key words: seamless stereo orthoimage database; digital orthoimage; stereoscopic measurement

About the first author: LI Deren, professor, Ph. D supervisor, Academician of the Chinese Academy of Sciences, Academician of the Chinese Academy of Engineering, Academician of the Euro-Asia International Academy of Sciences. He is concentrated on the research and education in spatial information science and technology represented by RS, GPS and GIS. He has made unique and original contribution in the areas of theories and methods for high precision photogrammetric positioning, GPS aerotriangulation, analysis and processing of SPOT imagery, etc. His published papers are more than 400.
E-mail: dli@wtusm.edu.cn