

文章编号: 1671-8860(2006)07-0565-04

文献标志码: A

# 一种地形变化检测与 DEM 更新的方法研究

李德仁<sup>1,2</sup> 夏松<sup>1</sup> 江万寿<sup>2</sup> 邵振峰<sup>2</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:** 提出了一种使用旧时期的 DEM 和最新的航摄资料检测地形变化, 同时更新 DEM 的方法。利用陕西省两个地区的数据对该方法进行了验证, 结果表明变化检测和数据更新的精度比较理想。与现有的生产流程相比, 该方法在效率方面有明显的优势, 对原始数据的要求较低, 最终的产品更加丰富, 方法也更加稳健和自动化。

**关键词:** 变化检测; 数据更新; 航空摄影测量; 影像匹配

中图法分类号: TP751; P237.4

变化检测是在不同时间对同一物体或现象观察、识别其差异的过程<sup>[1]</sup>。Jensen 等<sup>[2]</sup>对变化检测和应用的现状作了详细的描述; Radke 等<sup>[3]</sup>对影像变化检测算法中常用的处理步骤和核心决策规则作了系统的研究, 包括显著性和假设检验、预测模型、阴影模型和背景建模; Lu 等<sup>[4]</sup>总结了在目前的文献中所能找到的已经实现了的主要的变化检测算法。

就遥感和摄影测量领域的变化检测方法而言, 人们对更多的细节如阈值、配准误差作了深入的研究。Peter<sup>[5]</sup>提供了一个选择阈值的统计框架; Dai 等<sup>[6]</sup>系统地研究并量化地评价了配准误差对于遥感影像变化检测精度的影响; 李德仁<sup>[7]</sup>认为, 变化检测要充分利用已有的 4D 产品, 以增加预知识来提高变化检测的效率和自动化程度, 要尽可能实现配准与变化检测同步进行, 以减少配准误差对变化检测结果的影响, 且在进行大比例尺空间数据库的变化检测时, 要注意地表高程是否变化, 必要时, 要重视三维变化检测。

## 1 地形变化检测与同步更新 DEM 的自动化算法

### 1.1 算法原理

在许多数据管理部门, 空间数据库中已经存

有 DEM、DOM 和 DLG, 只要获得最新的航空像片, 就可以利用这些数据直接检测地形的变化, 同时更新旧的 DEM, 以获得最新的地形数据。

本文方法的原理是: 利用已有的控制点数据库和 DEM/DOM, 通过影像匹配和后方交会, 对影像增强后的新的立体像对解求像片对的外方位元素, 然后用铅垂线轨迹法 VLL (vertical line locus)<sup>[8]</sup> 内插整个立体模型网格点的高程, 并与旧的 DEM 高程比较, 如精度合格, 则为未变化点; 若高程差超出精度允许范围, 则为怀疑点。通过编辑和质量检查, 从怀疑点中确定高程变化点, 未变化点可纳入下一步迭代计算中, 最后可同时提供变化检测结果、更新后的 DEM 和新影像的外方位元素。若新影像由具有 POSE 系统的数码摄像机提供, 则可用 POSE 提供的外方位元素作为初值, 更有利于问题的快速求解。流程如图 1 所示。

### 1.2 新方法的优势

本文方法有如下优势。

1) 降低了对原始资料的要求。在以前的流程中, 像片的方位元素是必需的, 通过区域网平差得到; 高精度的地面控制点也是必需的, 通过 GPS 或大地测量得到。原始资料的精度对最终产品的质量有很大的影响。在本文方法中, 由于所需的少量控制点来源于已有的测绘成果 DEM /

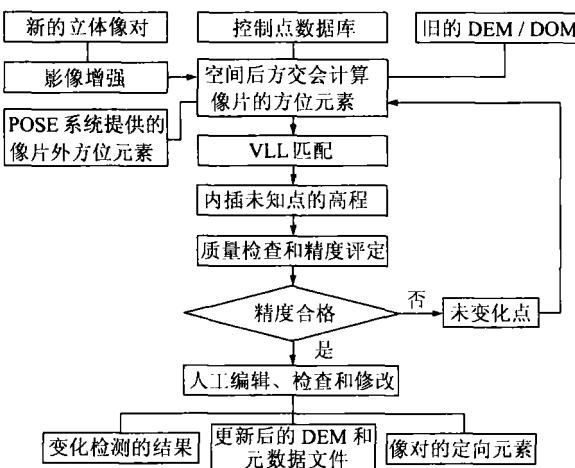


图1 地形变化检测和 DEM 更新的流程

Fig. 1 Flowchart of Terrain Change Detection and DEM Updating

DOM, 影像的定向参数不是必需的, 且经过每次迭代会变得越来越精确, 所以最终产品的质量对于原始数据的依赖要小。

2) 流程的自动化程度比较高, 对人工操作的需要比较少。在以前的流程中, 影像匹配以后, 需要进行大量的人工编辑如平滑、内插来修正由于误匹配产生的错误的高程点。通常是修改地表的等高线, 使其更准确地表达地形; 还需要加测大量的特征点和特征线, 如山峰、峡谷、山脊线、断裂层等, 这对于地形起伏较大的区域尤其如此。通过内插得到细格网的 DEM 后, 仍然需要对复杂的地形区域进行细致的编辑工作。在本文方法中, 未变化点的平面和高程坐标来源于旧的 DEM, 其高程由新影像上的严格的相关条件进行检验, 同时可以将粗差检测的算法集成到迭代过程中, 以剔除粗差。因此, 只是在内插未知的高程点以后才需要人工编辑。对于一定的地理区域, 由于变化范围只是占据整个区域的很小一部分, 所以这时需要的人工编辑工作量也很少。

3) 在以前的流程中, 最终的成果就是新时期的 DEM; 而在本文方法中, 最终成果除了最新的 DEM 以外, 还包括地形变化检测的结果和准确的定向元素。由于所有的未变化点可以作为控制点参与迭代, 所以最终的定向元素精度较高, 变化检测的结果也很可靠。

## 2 实验

根据以上原理, 笔者在 PC 机上编写了应用软件来验证该方法。PC 机的配置是 2.6 GHz

CPU, 512 M 内存, Windows 2000 Professional。软件主要包括以下几个模块: 光束法平差, 用于迭代计算定向参数和剔除粗差。基于物方空间的匹配(VLL 匹配), 用于区分未变化点、变化点和未知点。影像处理, 用于处理航空影像的基本工具, 如纹理增强。内插, 用于内插未知点的高程。可视化, 用于显示航空影像、DEM 和变化检测的结果。精度评定, 用于评定结果的精度。输出, 输出变化检测的结果、更新后的 DEM 和元数据文件。

### 2.1 实验 1

本实验采用的数据如下: DEM, 使用数字摄影测量工作站和 1988 年拍摄的航空像片生产, 坐标原点为(36 374 300.000 m, 3 662 175.000 m), 正方形格网, 格网间距为 25 m, 格网列数为 129, 格网行数为 230; 少量控制点(至少 3 个), 来源于已有的 DEM/DOM 或者控制点数据库;

立体像对, 使用 Wild RC-30 相机拍摄, 相机参数为  $f = 153.589$  mm,  $x_0 = -0.003$  mm,  $y_0 = -0.009$  mm, 成像比例尺为 1: 35 000, 像幅大小为 23 cm  $\times$  23 cm, 立体像对扫描成像素大小为 50  $\mu\text{m}$  的 TIFF 格式的数字影像。

立体影像及其对应的定向元素提供给熟练的操作工人, 并使用数字摄影测量工作站生产最新的 DEM, 以此作为实验结果的参考数据。

为了表达清楚, 假定  $\text{DEM}_0$  表示旧的 DEM,  $\text{DEM}_1$  表示操作员生产的最新的 DEM,  $\text{DEM}_2$  表示由原型系统生产的 DEM。如果地形变化检测的结果非常理想, 就应该满足:

$$\Delta\text{DEM}_2 = \text{DEM}_2 - \text{DEM}_0 = \text{DEM}_1 - \text{DEM}_0 = \Delta\text{DEM}_1$$

$$\text{或 } \Delta\text{DEM}_2 - \Delta\text{DEM}_1 = 0$$

如果更新的 DEM 非常理想, 那就应该满足:

$$\text{DEM}_2 = \text{DEM}_1$$

$$\text{或 } \Delta\text{DEM} = \text{DEM}_2 - \text{DEM}_1 = 0$$

由于来自原始数据、生产流程和人工操作的系统误差和随机误差不同, 上面的等式不可能严格成立。本文使用国家测绘局 1998 年制定的 1: 1 万的 DEM 精度规范<sup>[9]</sup> 来评价实验结果。

在实验中, 选用山地一级标准来评价实验结果, 设置高程中误差的限差为 2.5 m, 剔除粗差, 并计算中误差, 实验结果如表 1 所示(汉中地区)。可以推知,  $\Delta\text{DEM}_2 - \Delta\text{DEM}_1$  表示地形变化检测结果的质量,  $\Delta\text{DEM}$  表示更新后的 DEM 质量。在实验中没有使用人工编辑, 但是得出的结果很好, 变化区域在航空影像上的表示如图 2 所示。

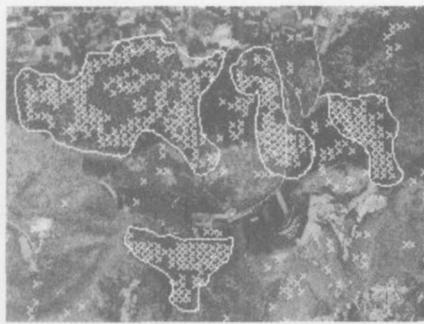


图2 汉中地区发生地形变化的区域

Fig. 2 Terrain Changed Area in Imagery of Hanzhong

## 2.2 实验2

该实验采用的数据如下: DEM, 使用数字摄影测量工作站和1988年拍摄的航空像片生产, 坐标原点为(599 275.000 m, 3 883 575.000 m), 正方形格网, 格网间距为25 m, 格网列数为117, 格网行数为247; 少量控制点(至少3个), 来源于已有的DEM/DOM, 或者控制点数据库; 立体像对, 使用Wild RC-10相机拍摄, 相机参数为 $f = 153.177$  mm,  $x_0 = -0.0068$  mm,  $y_0 = 0.0103$  mm, 其他条件同实验1。地形变化检测和DEM更新的精度见表1(铜川地区)。变化区域在航空影像上的表示如图3所示。

表1 变化检测和数据更新

Tab. 1 Accuracy Assessment of Change Detection and Updating

$\Delta DEM_2 - \Delta DEM_1$	小于限差的百分比/%	小于2倍限差的百分比/%	RMS/m
汉中地区	84.2	96.1	1.64
铜川地区	64.0	88.3	2.19



图3 铜川地区发生地形变化的区域

Fig. 3 Terrain Changed Area in Imagery of Tongchuan

## 3 结语

本文的研究和实验证明了所提出的方法可同时用于地形变化的检测和DEM的更新。与现有

的生产流程相比, 本文方法对原始资料的要求较低, 不需要一般的定向过程, 极大地减少了人工的编辑, 且产品更加丰富。本文的实验结果虽然比较理想, 但是还有大量的改进工作需要进行, 如减少由于森林覆盖或复杂地形(如山的阴影、断裂地带和陡崖)条件引起的错误率; 根据多个地形因子提供特定的判决规则; 使用多级DEM格网提供更加合理的变化检测方案; 进一步减少交互工作等。

致谢: 陕西测绘局为本文提供了实验数据, 武汉大学遥感信息工程学院的王茜老师在数据处理中给予了帮助, 在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] Singh A. Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1989(10): 989-1 003
- [2] Jensen J R, Cowen D, Narumalani S, et al. Principles of Change Detection Using Digital Remote Sensor Data[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 37-54
- [3] Radke R J, Andra S, Al-Kofahi O, et al. Image Change Detection Algorithms: a Systematic Survey [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(3): 294-307
- [4] Lu D, Mausel P, Brondizio E, et al. Change Detection Techniques[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(12): 2 365-2 407
- [5] Peter A R. Change Detection Thresholds for Remotely Sensed Images[J]. Journal of Geographical Systems, 2002(4): 85-97
- [6] Dai Xiaolong, Khorram S. The Effects of Image Misregistration on the Accuracy of Remotely Sensed Change Detection[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36(5): 1 566-1 577
- [7] 李德仁. 利用遥感影像进行变化检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(特刊): 7-12
- [8] 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
- [9] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003

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, 欧亚科学院院士。现主要从事遥感、全球定位系统、地理信息系统和多媒体网络通信及其集成研究。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。已发表论文350余篇, 出版专著8部。

E-mail: dli@wtusm.edu.cn

# Approach for Terrain Change Detection and DEM Updating

LI Deren<sup>1,2</sup> XIA Song<sup>1</sup> JIANG Wanshou<sup>2</sup> SHAO Zhenfeng<sup>2</sup>

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

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

**Abstract:** An efficient and fully automatic approach to detect terrain changes and update old DEM simultaneously with outdated DEM and up-to-date aerial stereoscopic pair is presented. The related tests are done with geospatial data from two regions in China, and experimental results of both change detection and updating are satisfactory. Compared with existing procedure in production, the approach excels at efficiency markedly, requires less for source data, produces more products, and it is more robust and automatic.

**Key words:** change detection; data updating; aerial photogrammetry; image matching

**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 remote sensing (RS), global positioning system (GPS), geographical information system (GIS). He has made unique and original contribution in the areas of theories and methods for high precision photogrammetric positioning, GPS aerotriangulation, etc. His published papers are more than 350 and books 8.

E-mail: dli@wtusm.edu.cn

## 《武汉大学学报·信息科学版》征稿简则

本刊是由武汉大学主办、国内外公开发行的测绘及相关专业学术期刊, EI、PASCAL、CSA 等国际著名检索系统均收录本刊发表的论文。为进一步提高刊登论文的代表性,发挥本刊在国内外的学术辐射优势,特面向国内外公开征稿。

1. 稿件内容: 本刊主要刊登有关摄影测量、遥感、大地测量、工程测量、地图学、物理大地测量、地球动力学、图形图像学、地理信息系统、测绘仪器、计算机理论及应用、光电工程、通讯技术及电子信息工程、资源与环境等相关学科的学术论文, 稿件要求具有较高的学术水平或重大应用价值。所有来稿文责自负。

2. 稿件要求: 来稿应符合科技论文著作要求, 论点明确, 论证严谨, 内容创新, 数据可靠, 方法科学, 文字通达、简洁, 字数一般在 8 000 字以内。来稿应采用法定计量单位, 采用国家有关出版标准, 附 300 字以内的中文摘要和相应的英文摘要, 并附有中英文关键词。摘要要有自含性, 要能反映论文的核心内容。作者署名应符合著作权法规定, 并附第一作者简介(中英文)、E-mail、通讯方式及所有作者的详细地址(中英文)。基金资助论文应注明基金名称、项目编号。

3. 投稿要求: 所有来稿应打印清楚(一式三份, 其中一份保留作者信息, 另二份去掉作者信息); 图表、公式应清楚, 易混淆的字符应注明; 所附照片应符合制版要求; 参考文献著录内容齐全, 格式符合有关标准, 并按引用的先后顺序于文中标出; 不准一稿两投。一经投稿, 视为作者授权编辑部可作不影响作者论点的必要文字加工。

4. 鉴于本刊已整体加入《中国学术期刊(光盘版)》、“中文科技期刊数据库”、“万方数据(ChinaInfo)系统科技期刊群”及“台湾华艺电子期刊全文资料库”等, 若无特别声明, 所有投稿视为作者同意在本刊出版印刷版的同时授权出版光盘版及进入因特网。本刊所付稿酬包含此项收益。

5. 来稿经本刊组织的同行专家评议、审查同意刊登后, 将酌收版面费。一经利用, 即付稿酬。来稿一般不退。对于投稿三个月后无答复的稿件, 作者可以查询。

6. 本刊编辑部地址: 武汉市珞喻路 129 号, 武汉大学(测绘校区), 武汉大学期刊社信息科学学报编辑部, 邮编 430079, 电话(027) 68778465。