

# 利用多时相 Landsat 影像生成白洋淀湖底 DEM 的研究

沈欣<sup>1</sup>, 欧阳志云<sup>1</sup>, Jan de LEEUW<sup>2</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 荷兰国际地理信息科学与地球观测学院)

**摘要:** 该文使用多时相 Landsat 影像, 以白洋淀地区为例, 阐述基于中等分辨率的可见光—近红外遥感影像生成具有较高精度数字高程模型的非常规方法。对覆盖同一研究区的不同时相影像分别进行淹没区与非淹没区的分类, 提取不同水位高度时的水域边界, 并以此为相应水位高度的等高线, 对获得的等高线进行插值生成数字高程模型 (DEM)。这种由一系列遥感影像提取的水域图生成数字高程模型的方法适用于人为干预较少、地形相对简单的湿地或季节性湖泊, 可以弥补该类地区数字高程信息不足或精度不够的缺陷。

**关键词:** 数字高程模型; 地球资源探测卫星; 湿地; 白洋淀

中图分类号: TP79; X37 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2005)02-0016-04

## 0 引言

数字高程模型 (DEM) 是地学基础数据之一, 它不仅对建立地理信息系统、进行地学分析具有重要意义, 而且也为生态学的研究提供重要信息。就湿地系统而言, 除进行基本地形因子计算、地形特征提取外, 通过数字高程模型可以确定水体的动态变化范围, 计算水体的容积, 了解水生植物生长的水文条件, 建立湿地水文动力模型, 获取一系列湿地系统环境因子的相关信息, 有利于湿地的生态学研究以及湿地的监测和保护。

DEM 数据点的采集方法通常有地面测量、现有地形图扫描矢量化、数字摄影测量、空间传感器测量 (GPS、雷达、激光测高仪)<sup>[1, 2]</sup>。其中地面测量工作量大, 实时性差。鉴于实际条件的限制, 现有地形图矢量化方法仍然是获取 DEM 的主要方法之一。数字影像测量基于地面点在立体像对中存在的视差与高程成函数关系的原理, 以数字影像为基础, 通过影像匹配, 内定向、相对定向并确定绝对定向, 测定所摄物体空间三维坐标, 获取 DEM 数据。空间传感器测量主要基于信号的物理特性, 如利用雷达波的干涉, 它比数字摄影测量的精度要高。

在对白洋淀地区的研究中, 通过高程模型和该地水位的测量值, 获取湖泊边缘群落交错区植被淹没和裸露程度的信息, 但获得的高程图精度只有 5 m, 远不能满足研究需要。在不能采用地形图扫描矢量化, 需要自行生成 DEM 的情况下, 考虑到影像数据的造价及可获得性、白洋淀地区地势平缓的特

点及可生成 DEM 的精度, 本研究采用非传统方法, 先从多时相遥感影像获得不同水位时水域的覆盖图, 再以不同水位时的水域边界为对应等高线生成高程模型, 解决了高程图精度偏低的问题。

## 1 研究区概况及影像选择

白洋淀位于河北省中部 (东经  $115^{\circ}4'54.87'' \sim 116^{\circ}7'50.23''$ , 北纬  $38^{\circ}46'6.95'' \sim 38^{\circ}59'4.12''$ ), 地处海河流域大清河水系, 是华北地区最大的淡水湖泊, 淀区面积达  $362.8 \text{ km}^2$ , 由 143 个大小不等的淀泊和 3 700 多条沟壕组成。白洋淀地区地势平坦, 自西北向东南略有倾斜, 地面自然坡度为 1:2 000。白洋淀地区淀泊的淀底高程多为 5.5~6.5 m (大沽高程), 最高处海拔达 9 m<sup>[3]</sup>。由于人为和自然因素的影响, 白洋淀湿地水文特征已发生了明显变化, 主要表现在入淀水量减少、水位降低、蒸发量增加等<sup>[4]</sup>。芦苇 (*Phragmites australis*)、蒲草 (*Typha*) 和荆三棱 (*Scirpus*) 是淀区最主要的挺水植物类型, 其中芦苇的分布占绝对优势。在浮叶植物中, 荷花 (*Nelumbo nucifera*)、芡实 (*Euryla ferox*) 和菱角 (*Trapa natans*) 为常见植物类型。

在 1986—2002 年白洋淀地区陆地卫星影像中选取 10 幅遥感影像 (表 1), 用于提取等高线生成数字高程模型。为了准确识别水域分布, 避免水面上浮叶植物和岸边芦苇的影响, 影像的生成时间必须是在 12 月到次年 4 月, 其中 1—3 月为最佳。为使等高线分布相对均匀, 根据当月水位对影像做进一步筛选。云雾的影响和影像质量也是需要考

收稿日期: 2004-12-30; 修订日期: 2005-01-12

作者简介: 沈欣 (1977-), 女, 硕士研究生, 从事遥感及其在生态学方面的应用研究。E-mail: shenxin1218@yahoo.com.cn

要因素。以 GPS 读取的 WGS 84 坐标值为地面控制点纠正后的遥感影像为标准图, 采用图像对图像的纠正方法对 10 幅影像进行纠正, 为了影像间更好匹配, 每幅影像的纠正误差限制在 0.5 个像元以内。

表 1 用于生成数字高程模型的遥感影像  
Table 1 List of available images used for the construction of the DEM

影像获取时间	卫星	日水位 (cm)	相对于 550 cm 的高差值(cm)
1986- 04- 16	Landsat 5	550	0
2001- 12- 13	Landsat 7	599	49
2000- 04- 06	Landsat 5	667	117
1994- 03- 21	Landsat 5	686	136
2002- 03- 11	Landsat 5	723	173
1999- 01- 14	Landsat 5	783	233
1990- 01- 05	Landsat 5	806	256
1995- 02- 04	Landsat 5	827	277
1997- 03- 29	Landsat 5	838	288
1996- 02- 23	Landsat 5	877	327

## 2 多时相可见光—近红外影像生成 DEM

### 2.1 多时相可见光—近红外影像生成 DEM 的方法

该方法的基本思路是: 选择合适的中等分辨率的可见光—近红外遥感影像, 应用适当的分类方法对影像进行淹没区与非淹没区分类, 由此确定水域的边界。在水体表面成水平分布的情况下, 水域的边界即是相应水位高度的等高线(通过这种方法获得足够的等高线), 这些等高线相当于地形图扫描矢量化方法中使用的标准等高线。对这些等高线进行插值运算, 即可生成数字高程模型。这种方法的概念框架如图 1。在操作过程中需要考虑更多的实际问题和因素, 笔者就白洋淀地区进行具体描述。

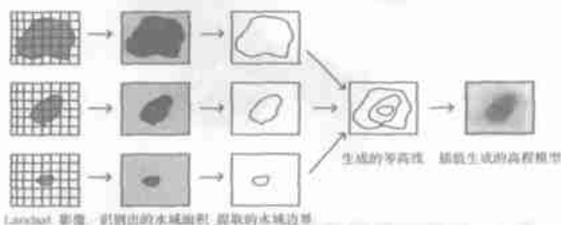


图 1 利用多时相 Landsat 影像生成 DEM 的概念框架  
Fig. 1 The conceptual framework for DEM generation using multi-temporal Landsat images

### 2.2 白洋淀案例研究

假设白洋淀水体表面成水平分布, 原因如下: 白洋淀地区虽然有成百个大小不同的淀泊, 但它们彼此相连; 白洋淀地区地势平坦, 水体之间没有落差。这一假设也可从安新、王家寨、端村 3 个水文观测站汛期水位记录得到验证。3 个水文观测站虽然分散在淀内的不同位置, 但其水位记录值基本一致, 最大读数差异只有 3 cm。

#### 2.2.1 水域非水域分类 利用遥感影像提取水域

分布信息有多种方法, 如可见光—近红外遥感<sup>[5, 6]</sup>、雷达<sup>[7, 8]</sup>等。基于可见光—近红外遥感提取水域分布信息的常用方法有监督分类、目视解译、NDVI 和 NDWI。监督分类应用较广, 它适于对大面积研究区进行分类, 而且其分类结果相对于目视解译具有更好的一致性。NDVI 多用于估计地上生物量和植被健康状况, 也被用以提取水域的边界信息。对于大片连续的水域, 该方法可以得到很好的分类结果。NDWI 是根据波段间比值进行分类的方法, 它主要用于勾画水域边界、提高水体在图像中的亮度值, 同时削弱土壤、陆生植物在图像中的亮度<sup>[9]</sup>。NDWI ( $NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$ ) 具有分类结果可靠、用相同的阈值可以保证对所有的影像采用相同的分类标准、易操作等优点。

考虑到此次研究的目的, 选用 NDWI 法。雪和冰在 NDWI 中与水相似。由于在绿波段的高反射和近红外的低反射, 雪和冰在 NDWI 图像中同样具有正值, 这有利于存在结冰水面或未融化积雪时正确提取水域的分布信息。

基于上述 10 幅影像, 计算出整幅影像的 NDWI 值, 然后将阈值应用于每一个像元。高于此阈值的被分类为水(包括雪和冰), 其它为非水。为了避免对人造地物的误判<sup>[10]</sup>, 采用了更严格的阈值(0.05)。在对此方法进行测试的案例中, 有人曾以 0 作阈值, 成功地分析出荷兰 Rhine 河的分布情况<sup>[11]</sup>。

#### 2.2.2 冲突的识别和等高线的确定

因影像的成像年代不同, 当进行淹没区与非淹没区分类时, 影像的分类结果间存在着某种冲突, 即在某一水位被淹没的区域, 在高于此水位时获取的其它影像中却不总是被淹没。可能的情况有 3 种: 1) 同一地点在不同的时间地势不同, 可能是地形的自然变化, 也可能是人为对地形的改变; 2) 小面积的水域水位受人为控制, 如当地农民修建的鱼塘; 3) 对图像的错误分类造成的假象。无论何种情况, 都将造成提取的等高线不一致, 使这些等高线生成的数字高程模型产生偏差。

为确定偏差程度并尽量避免偏差, 研究中采用如下做法: 如果影像间是一致的, 那么在水位  $x$  时被分类为水域, 在水位大于  $x$  时也应该是水域。同理, 在水位  $x$  时被分类为非水域的地方, 在水位小于  $x$  时也应被分类为非水域。按这两种假设分别生成的研究区高程信息应一致。非上述情况, 则说明各影像所反映的信息具有逻辑不一致性。

比较由上述两种假设得到的高程信息生成的不

一致性图。图中像元的值为 0~ 10, 0 表示两幅图传达着同样的信息, 10 表示在两种假设下得出的信息有最大的不一致性。从统计结果看, 值是 0 的像元占 62%, 即相一致; 大于 7 的像元只占研究区不到 3% 的面积, 这些高度冲突的像元多分布在鱼塘这类人为控制水位的区域。除此之外, 具有不一致性的像元中有 93% 的值小于 5。值不为 0 的单个像元在研究区的各个方位都有发生, 可以认为这是由 10 幅影像之间的细小差异造成。基于以上分析, 由不同时相的遥感影像所提取的地形高程信息是可靠的, 可以被进一步应用。为了避免那些单个像元的影响, 由第二种假设生成的影像被采用, 由其生成等高线的矢量图, 完成了等高线的确定。

2.2.3 数字高程模型的生成 等高线插值是生成 DEM 的常用环节, 本文使用的是 ILWIS 软件中的等高线插值函数(contour interpolation)。该方法首先将等高线的矢量图栅格化, 图中等高线未覆盖的栅格所对应的高程值通过对高程值确定的栅格进行线性插值获得。由此生成的栅格图即 DEM。白洋淀地区以 1: 2 000 的坡度估算, 10 cm 的高程差约为 20 m 的水平距离, 因此在使用空间分辨率为 30 m 的 Landsat 影像时, 湖底高程的变化基本可以反映为不同栅格所具有的高程值。在高差较小且地势变化明显的少数区域存在不同等高线落入同一栅格的情况, 本文未对此类情况作特殊处理。在使用等高线插值方法得到的白洋淀湖底的 DEM 中, 对应于具有一致性的区域, 数字高程信息更可靠。生成数字高程模型的流程如图 2。

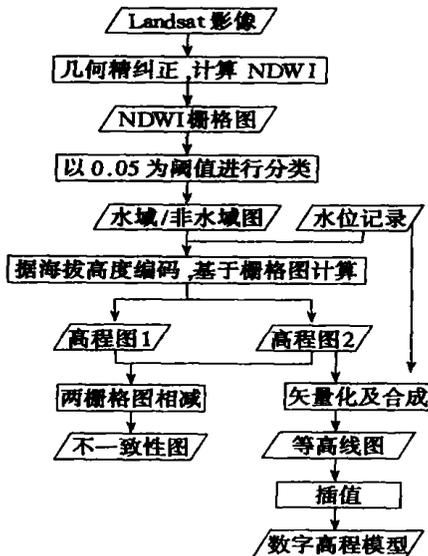


图 2 多时相遥感影像生成 DEM 的流程  
Fig. 2 Various steps of the method applied for extraction of DEM derived from multiple Landsat images classified for open water

### 3 白洋淀 DEM 和精度评价

据上述方法生成的数字高程模型见图 3, 图中海拔高度为 5.5~ 8.97 m。淀区较深的部分在研究区的东侧, 深灰色表示低水位被淹没的范围。因条件所限, 不能通过相应的实测数据来验证模型的准确性, 故利用明显的地貌特征来进行准确性评价。具体做法: 将一幅在生成高程模型时未使用过的遥感影像叠放在模型上, 比较由数字高程推测的水域范围和该影像上呈现的水体。所使用的水体获取于 2003 年 5 月 25 日, 当时水位为 6.49 m, 即海拔小于 6.49 m 的地方处于被淹没的状态。图 4 中, 数字高程中低于此高度的地方被识别出来, 并以斜线在假彩色合成影像上标出, 可见两信息源吻合得较好。

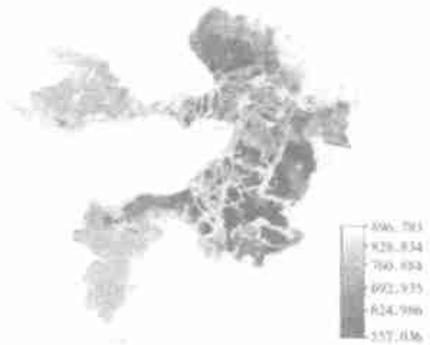


图 3 白洋淀地区数字高程  
Fig. 3 Interpolated elevation map of Baiyang Lake



图 4 由数字高程模型推算出的淹没区和假彩色合成影像(ASTER 2003-05-25 水位 6.49 m)的比较  
Fig. 4 The flooded area derived from the DEM overlapped on a FCC based on the ASTER image (water level 6.49 m, May 25th, 2003)

### 4 结语

通过机载激光雷达影像、差分 GPS 可以获取更准确、更可靠的高程数据, 实际工作中因数据获取和使用的局限性, 由一系列遥感影像提取的水域图生成数字高程模型的方法不失为一种有效途径。由此高程模型提取的高度变量被用于后续研究中的回归分析, 变量间关系得到验证, 在一定程度上说明高程模型的可靠度。但该方法需要大量同一地区不同时

期的影像, 时间跨度过大地形会发生自然变化和人为改变, 造成提取的等高线不一致; 因多时相遥感影像提取的水域边界生成高程模型方法的局限性, 使用 NDWI 进行分类可能将少部分高浑浊度的水域误分为非水区。该方法更适于地形相对简单、受人为干扰较少的湿地或季节性湖泊。

#### 参考文献:

- [1] HODGSON M E, JENSEN J R, SCHMIDT L, et al. An evaluation of LIDAR- and IFSAR- derived digital elevation models in leaf-on conditions with USGS Level 1 and Level 2 DEMs[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84(2): 295- 308.
- [2] HIRANO A, WELCH R, LANG H. Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment[J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 57(5- 6): 356- 370.
- [3] 高俊杰. 安新县志[Z]. 北京: 新华出版社, 2000.
- [4] 李英华, 崔保山, 杨志峰. 白洋淀水文特征变化对湿地生态环境的影响[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 62- 68.
- [5] DUANE N M, HARRINGTON J J A, WU J. Remote sensing of temporal and spatial variations in pool size, suspended sediment, turbidity, and Secchi depth in Tuttle Creek Reservoir, Kansas: 1993[J]. Geomorphology, 1998, 21(3- 4): 281- 293.
- [6] HUDSON P F, COLDITZ R R. Flood delineation in a large and complex alluvial valley, lower Panuco basin, Mexico[J]. Journal of Hydrology, 2003, 280(1- 4): 229- 245.
- [7] HORRITT M S, MASON D C, LUCKMAN A J. Flood boundary delineation from synthetic aperture radar imagery using a statistical active contour model[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(13): 2489- 2507.
- [8] MERTES L A K. Remote sensing of riverine landscapes[J]. Freshwater Biology, 2002, 47(4): 799- 816.
- [9] MCFEETERS S K. The use of the Normalized Difference Water Index(NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425- 1432.
- [10] ZHAN Q. A hierarchical object-based approach for urban land-use classification from remote sensing data[D]. Enschede: Wageningen University, 2003.
- [11] <http://cgi.girs.wageningen-ur.nl/cgi/projects/bcrs/multisensor/report1/6.htm>. 2004- 02- 16.

### Constructing A DEM of Baiyang Lake Area from A Series of Landsat Images

SHEN Xin<sup>1</sup>, OUYANG Zhi-yun<sup>1</sup>, Jan de LEEUW<sup>2</sup>

(1. Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;  
2. Netherlandish International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Netherlands)

**Abstract:** An unconventional method of constructing Digital Elevation Model(DEM) was presented in the article, from a series of middle resolution remote sensing images. With the assumption that the surface of water reaches the same height everywhere within the lake, conceptually, it starts with mapping water surfaces using visible and infrared part of the electromagnetic spectrum. Then water boundaries are identified taken as contours in related water levels. In the end, the interpolated DEM derives from the contours extracted.

As an example, using 10 Landsat images a DEM was generated for Baiyang Lake with an accuracy of less than a meter. In this case, a method named NDWI was used to identify water surface. Mainly due to its complicated topography, which was modified by human activities, there were inconsistencies among the various images. It was called confliction, and the degree of confliction was assessed in the article using a method with certain rules of consistency. Based on this analysis, it was concluded that the elevation information derived from the processed images was reliable, and could be used for interpolation. A DEM of Baiyang Lake was constructed following the aforesaid steps. By checking the conformance focusing on apparent features, a general assessment was applied to the DEM.

This method suits to be used in the wetland area or seasonal lakes, which have a relatively simple topography and are less modified by the human beings. As a supplementary method to obtain DEM, it provides important information of those areas for ecological research, wetland monitoring and conservation, while most of the time those areas are lack of accurate elevation data.

**Key words:** Digital Elevation Model (DEM); Landsat image; wetland; Baiyang Lake