

利用数字摄影测量探测橡树草原变化^{*}

宫 鹏

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

梅雪良 G.S. Biging

(美国伯克利加州大学)

张祖勋

(武汉测绘科技大学测绘与遥感信息工程国家重点实验室 武汉 430070)

摘 要 数字摄影测量的一个新的应用,即自然景观的变化监测,它是我们近年围绕遥感生态测量学所做的一些初步尝试。用加州橡树草原区 1970 年和 1995 年 1:12,000 比例尺航空摄影立体像对,构建有别于数字地形模型的数字表面模型。由于数字表面模型上记录着树冠和其它景观的三维表面坐标,我们可以测量树高与树冠郁闭度,从而比较 25 年间橡树草原的变化。用数字表面模型有助于改善遥感多光谱分析所探测到变化的精度,使融合三维表面数据和多光谱数据以提高遥感信息提取的精度成为可能。

关键词 数字表面模型,森林变化深测,数字摄影测量,遥感生态测量学

1 引 言

利用遥感数据进行生态测量有许多不同途径。Peterson 等^[1,2]应用陆地卫星专题制图仪和机载模拟专题制图仪数据估算林地覆盖、叶面指数和叶生物化学成分。他们的方法主要是建立生态参数与多光谱数据及其变换值之间的统计回归关系。这类技术在应用机载高光谱数据中得到进一步的发展。浦瑞良等^[3,4]、Gong 等^[5]、宫鹏等^[6]、张良培等^[7]报告了微分光谱、多元回归、子像元分解技术在林地覆盖、叶面指数、叶生物化学成分和生物量等参数估算方面的应用。在图像空间特征方面,可利用从图像上提取的纹理^[8,9]和空间自相关方差(Semivariogram)特征^[10]与植冠郁闭度和叶面积指数等生态参数建立关系。上述两类研究主要通过建立经验性的统计关系来实现对生态参数的估算。它们随着研究地区和所用遥感数据的变化而改变。这一缺点可以在一定程度上通过辐射传输模型反演来克服^[11]。然而,所有这些方法均未使用摄影测量技术。

其实,我们可以根据摄影测量学的原理对植物三维形态进行直接测量。近年来我们提出建立遥感生态测量学(Photo-ecometrics)¹⁾。建议相关学科的同

行们重视摄影测量技术对准确测量生态参数的潜力。本文介绍我们应用数字摄影测量对美国加利福尼亚州橡树草原进行监测的一些初步尝试。

2 利用数字摄影测量进行林地测量和变化探测

数字摄影测量是从多角度摄影图像进行自动化三维量测与制图的技术^[12]。数字摄影测量的两个主要应用是自动产生数字地形模型(DEM)和正射影像图。DEM一般由地形高程按一定格网构成的二维数组。地形高程不包含诸如树、建筑物等地表景观的高度。然而,对林地量测来说树的植冠高度恰恰是需要的。所以我们在应用数字摄影测量时要产生包含植冠表面高度的数字表面模型(DSM)。正射影像是消除了由于摄影倾斜和地表起伏等产生的图像变形而得到的整幅图像比例尺恒定的地表影像。从摄影测量原理我们知道从非正射影像上所量测的面积误差随着地形起伏的增高而增大。只有从正射图像上量测到的地物面积才最准确。然而,在生态学界人们往往直接从未经纠正的航空像片上量算植被盖度而忽视地形起伏所带来的误差。植被高度则通过树种和植冠大小估计到。

^{*} 国家杰出青年科学基金 B 类和美国 IHRMP 资助项目。高分辨率扫描数字化航片由美国 HJW & Associates, Inc. 提供。

1) 宫 鹏, 1998, 遥感生态测量学进展, 第三届全国青年科技大会论文集, 资源与环境分册, 30-35。

收稿日期: 1999-01-26; 收到修改稿日期: 1999-06-16

利用数字摄影测量自动提取 DEM 或 DSM 一般包括下述 7 步^[12]:

(1) 数据准备: 航片扫描数字化及准备相机参数和地面控制点数据文件。相机参数包括镜头焦距、像幅框标尺寸、及像主点位移量等。

(2) 像片内定向: 利用相机参数和扫描参数(分辨率)建立像片坐标系与扫描坐标系之间的数学关系。

(3) 相对定向: 建立左右像片摄站间的空间位置及姿态参数的相对关系, 据此消除左右像片同名点间的上下视差, 建立立体模型。

(4) 核线排列(重采样): 利用相对定向参数将原始影像上非航向的核线排列为航向核线, 从而生成核线影像, 化二维影像匹配为一维影像匹配。

(5) 影像匹配: 利用相似性测度自动找出左右像片中的同名像点, 求出左右视差。

(6) 绝对定向: 利用控制点数据建立地面坐标

与像片坐标间的数学转换关系。

(7) DEM 或 DSM 生成: 利用绝对定向及视差结果求出像点的三维大地坐标。

数字摄影测量现已走向实用化。目前市场上商用系统一般具有自动生成 DEM 或 DSM 的功能。较有代表性的有国产的 VirtuoZo, 美国的 SocetSet, 德国的 MATCH-AT, 加拿大的 PCI 等。在不同的系统中, 上述 7 步会略有不同。核心的一步为影像匹配。不同的系统因采用不同的算法而性能不同。

我们利用数字摄影测量软件 SocetSet 及 VirtuoZo 按上述步骤对加州 Marine 县 Gallinas 河谷 1970 年和 1995 年 1:12,000 黑白航空像片立体像对进行了试验。两年度航片均为垂直摄影。将像片透明正片经 Vexel 3000 扫描仪按 1000DPI(每英寸 1000 点)分辨率进行扫描。然后, 输入 SocetSet 和 VirtuoZo 数字摄影测量软件自动提取 DSM 并生成正射影像(图 1)。图 1 所示的区域为橡树草原。图像分辨率大约为

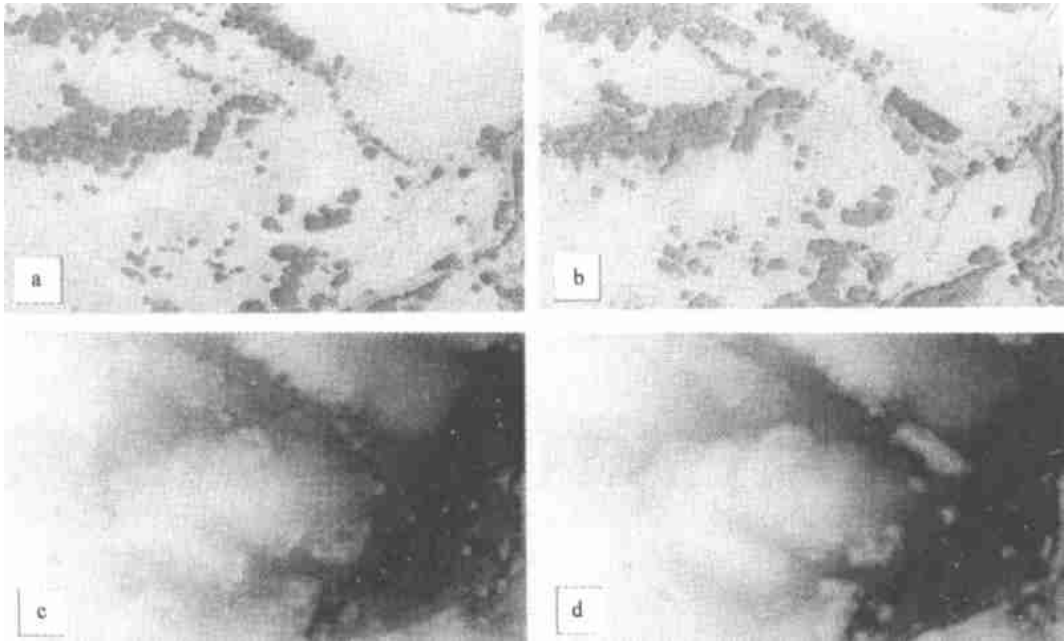


图 1 数字摄影测量用于数字地表模型及正射影像的生成

a. 1970 年正射影像; b. 1995 年正射影像; c. 1970 年数字地表模型; d. 1995 年数字地表模型

Fig. 1 Digital surface model (DSM) and orthophoto generation with digital photogrammetry

30 cm。图 1 上半部分分别为 1970 和 1995 年像片的正射影像; 下半部为数字地表模型 DSM。两幅正射影像均按同一地面坐标制作, 经验证其平面坐标误差小于一个像元^[13]。在正射影像上橡树呈暗色。在 DSM 上树冠较周围亮。这是因为 DSM 是地表高度的测量值。树冠高度比周围草地要高。由于没有在当时对树冠真实高度进行实地量测, 所以我们无法

报告两幅 DSM 沿高度轴向的准确度。我们曾对提取橡树及针叶树高度的数字摄影测量进行评价, 发现准确提取橡树树高一般在 80% 以上, 精度在分米级, 而从自动生成的 DSM 中准确提取针叶树高度却低于前者, 一般低于 70%。其原因主要是针叶树树冠较橡树树冠陡峭而造成图像自动匹配的困难较高。从图 1 中不难看出树冠高度可从 DSM 中测定,

而树冠覆盖可以通过对正射影像设阈值处理得到。这样便可比较 1970—1995 年间橡树的长势。

如果我们按取阈值的方法从原始航片上提取植被盖度,将所得结果与从正射影像上所得结果进行比较,可以得到图 2。图 2 中白线代表从正射影像上获得的树冠边界,而黑线为从原始影像上提取的树冠边界投影在正射影像坐标系中。该区域地形起伏仅仅 60 m,却产生如此大的边界位移。统计所得面积显示原始图像上计算的面积比正射影像上计算的面积高 9.9%。由此可见从原始航片上估算植被盖度可能造成的误差是不容忽视的。



图 2 阈值法提取的树冠边界

注:白线为从正射影像上提取的结果;黑线为从原始影像上所得结果

Fig. 2 Crown boundary generation using image thresholding

以 1970 年立体像对为例,常规获取 DEM 是对 DSM 进行编辑加工,即在 DSM 上对树冠部分的高程进行平滑处理,将平滑后的树冠高程值减去周围地面的平均高程值,做为树冠平均高度。这样从 DSM 中减去树冠平均高度,再将残余的树冠部分的立体模型与其周围高程进行二次多项式拟合,便可得到常规意义上的数字地形模型(DEM)。我们目前采用对正射影像取阈值提取出来的树冠做为模板,将 DSM 中的树冠部分高程去除。然后用去除了树冠高程的 DSM 进行二次多项式拟合便得到本文使用的 DEM。从已获得的 DSM 上减去相应的 DEM 即得消除了地面起伏的树冠表面三维模型(图 3)。从该

模型上可以量测树高和树冠郁闭度。除黑颜色背景外,有亮度变化的均为橡树树冠。较明亮处为较高的树冠。每簇树冠的最亮处为树顶。



图 3 由数字地面模型减去数字地形模型后得到的三维树冠表面模型

Fig. 3 A subtraction of the DEM from DSM results in the 3D morphological model of forest canopies

将 1995 年和 1970 年的正射影像图相减即得地表覆盖变化图(图 4)。从图 4 仅可以看到 25 年间的树冠郁闭度在二维水平空间上的变化。然而,该图仅记录地表辐射变化所反映的地表变化。由于在正射影像图上橡树呈黑色,所以图中灰色区表示无变化区、黑色调表示树冠郁闭度增长区、而白色调为树冠消减区。从图 4 可见有些树周围有黑色轮廓。这表明这些树在过去的 25 年中树冠郁闭度有所增长。反之,有的树由白色轮廓包围则表示树冠郁闭度缩小。如果树冠与周围地表的反差较小则树冠郁闭度变化难以探测到。从图 4 上无法得知树高是否发生变化。



图 4 两年度正射影像图相减所得地表覆盖变化图

Fig. 4 Land surface cover change derived from the subtraction between the two orthophotos

将 1995 年和 1970 年的数字表面模型相减得到地表形态变化图(图 5)。该图反映的是 25 年间从空中可以观测的地表景观在三维空间的变化,这不仅包括树冠郁闭度变化还记录着树高变化和不被树木遮挡的地貌变化,如侵蚀或淤积引起的地表变化。

由于 DSM 反映地表景观高度,图 5 中白色调表示高度增长区,黑色调为高度减小区,而灰色表示无高度变化。由于多数树冠区为白色,我们断定多数树有所增高。对于橡树来说,我们可以用正射影像取阈值后所得树冠叠置于地表形态变化图上以提取树冠变化信息。

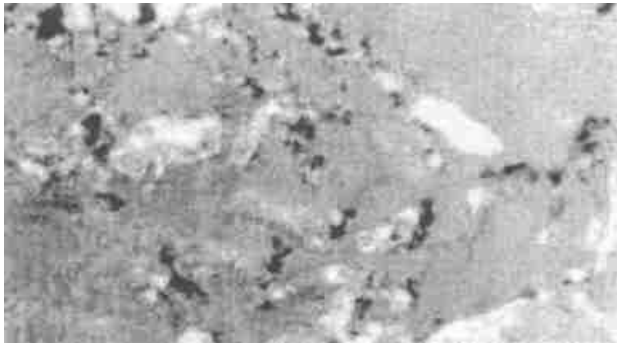


图 5 两年度数字地表模型图相减所得地表形态变化图
Fig. 5 Land morphological cover change derived from the subtraction between the two DSMs

3 结论

尽管航空摄影或数字摄影缺乏较多的光谱信息,数字摄影测量可以为图像分析提供较准确的三维空间数据。这是大多数遥感应用所忽视的。本文通过实例展示数字摄影测量技术对测量树冠盖度和树高的优势。这两个生态参数都是传统遥感所测不准的。我们下一步的目标是对通过数字摄影测量方法所获得的树高和树冠信息进行详细的精度评价,并且将数字摄影测量技术与多光谱分析技术结合使用。这样,我们可以同时有效地利用地物多光谱信息和较准确的三维形态信息进行更准确的生态测量。

参 考 文 献 (References)

- Peterson, D. L., et al. Relationship of Thematic Mapper Simulator data to leaf area index of temperate coniferous forests. *Remote Sensing of Environment*, 1987, **22**: 323-341.
- Peterson, D. L., et al. Remote sensing of forest canopy and leaf biochemical contents. *Remote Sensing of Environment*, 1988, **24**: 85-108.
- Pu Ruiliang, Gong Peng. Relationships between Forest Biochemical Concentrations and CASI Data along the Oregon Transect. *Journal of Remote Sensing*, 1997, **1**(2): 115-123. [浦瑞良,宫 鹏. 用 CASI 数据估算美国俄勒冈森林生物化学成分. 遥感学报, 1997,

1(2): 115-123.]

- Pu, R., P. Gong, J. R. Miller. Estimating conifer leaf area index across the Oregon transect using CASI imagery. *Journal of Nanjing Forestry University*, 1993, **17**: 41-48. [浦瑞良,宫 鹏, J. R. Miller. 应用 CASI 图像数据估计横跨美国俄勒冈州针叶林叶面积指数. 南京林业大学学报, 1993, **17**: 41-48.]
- Gong, P., et al. Forest canopy closure from classification and spectral unmixing: a multi-sensor evaluation of application to open canopy. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 1994, **32**(5): 1067-1080.
- Gong, P., P. Shi, R. Pu, H. Guo. Earth Observation Technology and Earth System Science. Science Press, Beijing, 1996. [宫 鹏,史培军,浦瑞良,郭华东. 对地观测技术与地球系统科学. 北京: 科学出版社, 1996.]
- Zheng Liangpei, Zheng Lanfen, Tong Qingxi. The Estimation of Vegetation Variables Based on High Resolution Spectra. *Journal of Remote Sensing*, 1997, **1**(2): 111-114. [张良培,郑兰芬,童庆禧. 利用高光谱对生物变量进行估计. 遥感学报, 1997, **1**(2): 111-114.]
- Marceau D. J., et al. Remote sensing and the measurement of geographical entities in a forested environment. 1. the scale and spatial aggregation problem. *Remote Sensing of Environment*, 1994, **49**: 93-104.
- Wulder, M. A., et al. Aerial image texture information in the estimation of northern deciduous and mixed wood forest leaf area index (LAI). *Remote Sensing of Environment*, 1998, **64**: 64-76.
- Cohen W. B., Spies T. A., Bradshaw G. A. Semivariograms of digital imagery for analysis of conifer canopy structure. *Remote Sensing of Environment*, 1990, **34**: 167-178.
- Li, X. J. Wang. Optical Remote Sensing Models of Vegetation and Vegetation Structure Parameterization. Science Press, Beijing, 1995. [李小文,王锦地. 植被光学遥感模型与植被结构参数化. 北京: 科学出版社, 1995.]
- Zhang, Z., J. Zhang. Digital Photogrammetry. Press of Wuhan Technical University of Science and Technology, 1996. [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, 1996.]
- Lee, S. M. Terrain and Land Cover Change Detection from Digital Elevation Models and Orthographic Images Produced with Digital Photogrammetry. Masters Thesis, Department of Geography, University of California, Berkeley, 1998.

作 者 简 介

宫 鹏, 1965 年生, 1986 年毕业于南京大学, 1990 年获加拿大滑铁卢大学博士学位。现在美国伯克利加州大学任教, 并任森林与环境资源监测评价中心主任。在南京大学、武汉测绘科技大学、北京师范大学和中国科学院遥感应用研究所兼职。主要研究兴趣为遥感生态测量学、遥感与地理信息系统应用于地方病控制。《Geographic Information Sciences》主编,《International Journal of Remote Sensing》编辑。发表学术论文 120 篇, 出版专著 4 册。

Monitoring Oak Woodland Change Using Digital Photogrammetry

GONG Peng

(*Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing, 100101*)

MEI Xue-Liang Gregory S·Biging

(*University of California, Berkeley, USA*)

ZHANG Zu-Xun

(*National Key Lab of Surveying, Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan Technical University, Wuhan, 430070*)

Abstract In this paper we report a new application of digital photogrammetry. It reflects our recent attempt toward the development of the field of photo-ecometrics. We illustrate the potential of digital photogrammetry in the monitoring of changes of oak woodland of California using 1:12,000 scanned aerial photographs. The photographs were taken in 1970 and 1995. Stereopairs in 1970 and 1995 have been used to derive digital surface models (DSM) that contain 3D morphological coordinates of every landscape component including oak wood, grass land and buildings. The DSMs allow us not only to study changes of canopy closure but also to measure tree heights and height change during the 25 year period. The potential of DSM opens many opportunities for improving the accuracy of change detection and species recognition than solely using traditional multispectral analysis.

Key words Digital surface model, Forest change detection, Digital photogrammetry, Photo-ecometrics