

# 崎岖地形动植物栖息地生态环境遥感制图与应用

黄文声, Janet Nichol

(香港理工大学 土地测量及地理资讯学系, 香港)

**摘要:** 传统制图方法周期长、成本较高, 影响了大面积精细动植物栖息地生态环境制图的生产。鉴此, 本文采用 KONOS (VHR) 图像对香港郊野公园崎岖地形的动植物栖息地生态环境制图进行了研究。由于香港植被的多样性, 而且观察的动植物相互作用出现于结构的层面, 所以对动植物栖息地的分类应以结构为基础而非以植物为基础。本文利用图像处理技术, 运用决策树之多层次地物导向分割分类 (MOOSC) 方法绘制九种动植物栖息地类型图。MOOSC 方法和其他现有的几种分类方法相比, 其分类精度高、成本低。

**关键词:** 动植物栖息地生态环境制图; KONOS; 结构分类; 图像分割

## 1 引言

世界自然基金会在 1993 年进行了全港首次动植物栖息地生态环境 (以下简称为栖息地) 测量<sup>[1]</sup>, 采用航空像片判读的方法进行实地考察, 由于当时技术的限制及航空像片分辨率的不足, 结果精度较差, 难以使用。英国国家测量 (基于 Landsat 及 SPOT 影像的判读) 对 Northumberland 国家公园栖息地进行了测量<sup>[2]</sup>, 但是精度也偏低, 而且需时较长、代价昂贵<sup>[3]</sup>。由于 Landsat 及 SPOT 1~4 影像的空间分辨率较低, 制约了全港动植物栖息地制图的精度及制图的成本。2003 年, 香港环境保护署运用 SPOT 4 及 Landsat 图像, 进行了覆盖全港的栖息地测量, 结果获得约 50% 的精度, 而草地、灌木草地及湿地的精度甚至低于 40%<sup>[4]</sup>。

我国近年也开展数字化栖息地制图, 2001 年出版的“1:1 000 000 中国植被图集”反映了我国 11 个植被类型组、54 个植被型的 796 个群系和亚群系植被单位的分布状况<sup>[5]</sup>。程维明等<sup>[6]</sup>利用 Landsat TM 和 ETM 遥感影像数据对全国地表覆被进行分类, 编制并完成了全国 1:100 万地表覆被图。张翠萍等<sup>[7]</sup>利用 KONOS 图像结合 DEM 编制了黄土丘陵地区动植物栖息图, 研究显示高分辨

率影像对于地形复杂的丘陵地区制作栖息地地图具有明显的优势。同时, 张翠萍等<sup>[8]</sup>亦提出人工林地识别方法, 基于 KONOS 卫星遥感图像提取不同郁闭度, 识别出不同的林地类型, 其精度达 90%。

到目前为止栖息地制图一般都难以达到高精度水平<sup>[9]</sup>。若多山地形的照度差问题能够得到解决, 利用新一代 VHR 卫星传感器影像, 如 4m 分辨率的 KONOS 影像, 进行栖息地分类制图便有很大的潜力<sup>[10]</sup>。事实上, 此类传感器影像的分类技术已有一些研究。Mather<sup>[11]</sup>提出像元分类法结合纹理特性<sup>[12]</sup>进行栖息地制图研究, 充分利用高分辨率影像之纹理性质。但是, 自然栖息地在 VHR 影像上有多种不同反射特性, 故此像元分类的方法并不完全适用。因此, 出现了地物分类法对航空及 VHR 卫星传感器影像综合进行栖息地制图的研究。该方法基于光谱特性和空间特性如尺寸、形状及局部纹理等, 将像元归类为间断地物或资料段 (segment), 其中资料段可用不同比例尺定义<sup>[13]</sup>。

本研究运用高分辨率立体航空像片的人工制图方法结合实地考察得出制图结果, 并对此制图结果和制图方法进行了精度评价。本论文的研究包括: (1) 基于像元与基于对象分类法的比较, (2) 图像处理方法可达到的整体精度之评估, (3)

收稿日期: 2007-12-03; 修回日期: 2008-01-07

基金项目: 香港特别行政区政府研究基金资助项目 (Grant PolyU 5166/03E)。

作者简介: 黄文声 (1980-), 男, 博士生, 主要研究方向为地理信息系统和遥感应用。

E-mail: m.wong06@fulbrightweb.org

人工制图与数字制图技术的成本效益比较分析。

## 2 研究区域与图像数据

本研究区域由 121km<sup>2</sup> 的多山地区组成, 包括位于北纬 22°02', 东经 114°01' 香港新界中部的大帽山及城门郊野公园 (图 1)。整幅卫星图像覆盖由平原到高地 (900m 高程) 的地形, 而由山顶至海岸的距离只有 3km, 其东南部之城门水塘筑于陡峭山谷, 坡度通常为 40°~50°。

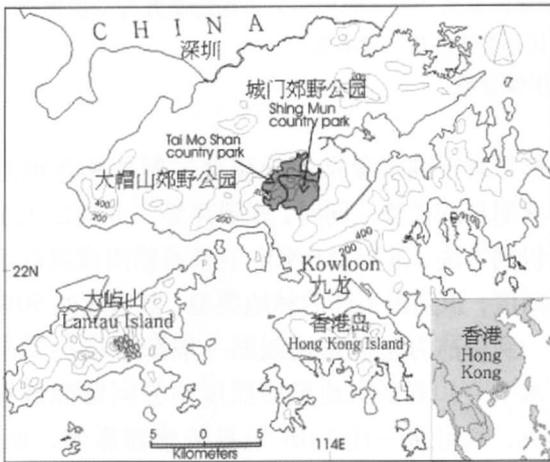


图 1 香港大帽山与城门郊野公园的位置

Fig. 1 Location of Tai Mo Shan and Shing Mun country parks

本研究采用 2003 年 1 月 28 日的多光谱 KONOS 图像, 太阳高度角为 40°, 图像采集时间为上午。另对 38 幅 1:4 000~1:18 000 的真彩色与假彩色立体图像 (图 2c) 进行了栖息地的目视判读。

## 3 生态环境遥感制图方法

### 3.1 图像预处理

由于研究区域的地形条件复杂, 首先需对图像进行几何及地形照度校正, 然后进行 KONOS 影像正射纠正<sup>[14]</sup>, 所得结果使高程精度达到半个像元 (2m)。极低太阳高度角导致向北坡及向西北坡的阴影, 近红外波段尤其严重 (图 2a)。对植被识别, 文中运用 Civco 的两阶段归一化方法<sup>[15]</sup>进行了照度校正。图 2a 及 2b 显示校正去除图像中大部分的阴影部分<sup>[15]</sup>。

### 3.2 分类系统研究

根据结构方法, 本应将长于草坡上的幼小树林被分为树林, 根据物理结构被分为灌木草地或

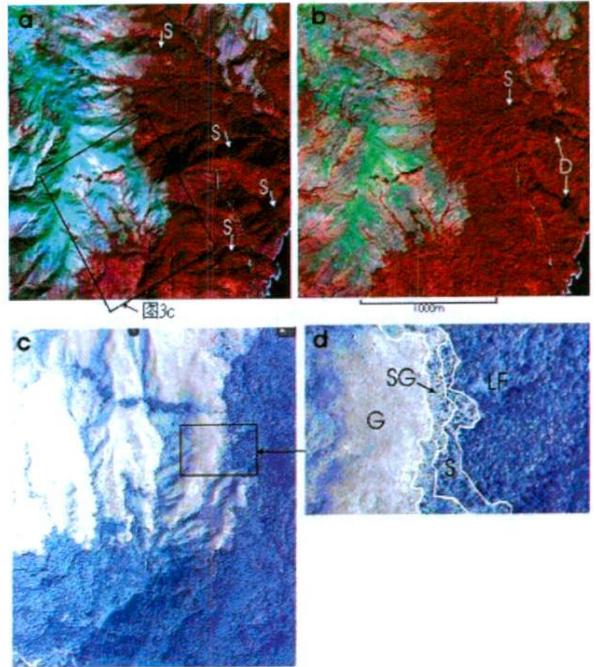


图 2 a. KONOS 假彩色, 运用线性反差扩展的照度校正前的研究范围其中 5km<sup>2</sup> 区域。由右下至左上大约 3km 的距离, 高程由 170m 上升至 800m, 很多树木丛生的向北坡 (S) 位于阴影内; b 运用线性反差扩展的照度校正后的 KONOS 图像其中一部分。除了绝对阴影 (S) 内一些小的区域以外, 向北坡上的阴影被去除, 而落叶性绿花白千层造林地 (D) 为图像上唯一剩余的广阔黑色地带; c 1:8 000 高质量彩色航空像片 (摄于 2002 年 8 月), 覆盖范围见图 3a d 3c 部分图像的放大图, 展示从草地到树林的交错群落。栖息地类型包括草地 (G)、灌木草地 (SG)、灌木地 (S) 及低地树林 (LF)

Fig 2 a KONOS false colour, region indicated the part after topographic correction, shadow indicated with mark (S); b topographic corrected image, absolute shadow in (S) and Melaleuca quinquenervia in (D); c 1:8000 high resolution air photo; d zoom-in the region in c, habitat structure gradually changes from grassland (G), shrubby grassland (SG), shrubland (S) and lowland forest (LF)

灌木地。在干旱冬季拍摄的图像上落叶性造林地与常绿树林品种很容易区分, 落叶林包括绿花白千层亦被分至一个不同的类别。然而, 大部分常绿林地结合常绿低地树林, 由于两者在结构与功能上皆相似, 故皆被分类为树林。考虑动植物的依赖性, 分为 9 个类型: 低地树林 (包括常绿种植种类)、山区树林\*、灌木地、灌木草地 (草地中多于 25% 为灌木)\*、草地、落叶性造林地、土壤, 市区, 水体。(\* 者表示不输入至 MLC 分类法)

### 3.3 航空像片判读与实地考察

本研究范围内的栖息地制图采用大比例尺 (1:4 000和 1:8 000) 航空像片, 通过立体判读与实地考察完成。界线首先被绘于像片上, 后以扫描数字化航片纠正成为数字正射像片作为制图底图。实地考察工作、制图及运用 332 个 GPS 站的精度评价共需六个人工作月。每个栖息地中 GPS 站的多寡按其面积以一个有目的的随机采样方法<sup>[16]</sup> 决定, 其中难达到的点被丢弃。

### 3.4 基于像元的最大似然比分类与量算

采用最大似然比分类 (MLC) 对七个基本类别进行试验, 我们发现结果精度较低。由于加入纹理量算后能够有效改善植被制图结果<sup>[17 18]</sup>, 故于此实验中利用  $3 \times 3$  窗口加入纹理量算。为增加最大似然分类的波段数量, 我们绘制了九波段图像, 其中包括三个纹理波段 (相异点、平均值及标准差)、四个原始 KONOS 波段、一个归一化植被指数波段 (NDVI) 及一个叶绿素指数 (CI) 波段<sup>[18]</sup>。其中, 后两种指数图像能在干旱季节图像上有效区分常绿林与半衰老草地、灌木及落叶林<sup>[19]</sup>。然而, 这些方法虽能从某种程度上改善精度, 但其结果仍低于 80% 的最低水平。因此, 减少类别之间的光谱重叠及进一步减少光谱变化的方法对分类精度的提高是有必要的。

### 3.5 运用决策树之多层次地物导向分割分类 (MOOSC)

本研究设计的运用决策树之多层次地物导向分割分类 (MOOSC) 方法被集成于 eCognition 应用软件中, 图像分类利用自下而上、基于地区性的方法进行<sup>[20]</sup> (图 3)。十波段的输入图像, 包括四个原始 KONOS 多光谱波段、NDVI 波段、CI 波段、三个纹理波段及 DEM 波段。首先图像被分成颜色、形状、紧密性、平滑度、同比例尺及不同比例尺的五层次资料段, 为各个波段设定阈值, 计算每一层训练样区的统计资料, 再用决策树方法将资料段分至不同类别。本研究运用目视判读航空像片, 以人机交互的方法设定合适参数。

在第三层资料段应用叶绿素指数<sup>[18]</sup> 并设定阈值, 能有效区分衰老的草本 (草) 类别和木质植被。此外, 高程及尺寸阈值对于消除地形阴影引起的灰暗的低地树林 (图 2b 之 S) 与落叶林地

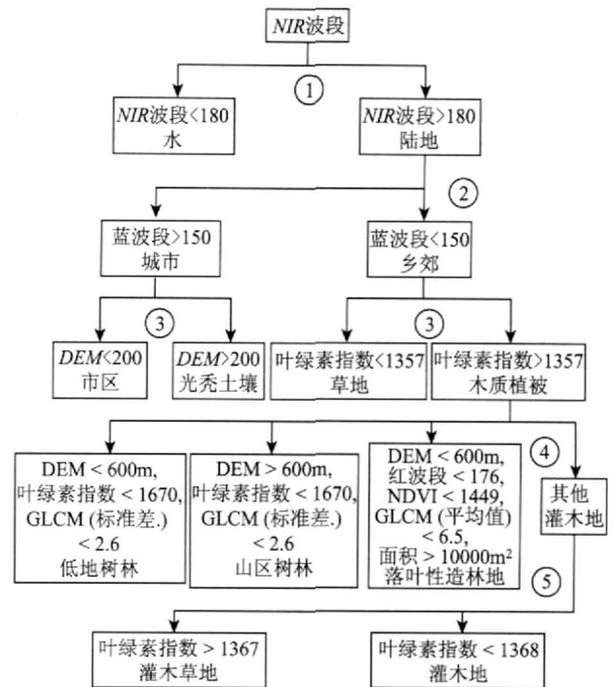


图 3 MOOSC 方法

Fig. 3 Flow chart of MOOSC method

(图 2b 之 D) 之间的光谱重叠效果很好。该区林地一般不分布于 600m 以上的地区, 所以运用尺寸及高程阈值, 它们被重新分至树林类 (图 2c)。DEM 高程也被应用于第四层以区别山区树林 (高于 600m) 与低地树林。第四层区别三个在树林的栖息地与唯一剩余无法分类的地区, 此地区位于上坡高于树林及低于山峰草地, 即介乎草地及灌木地之间的过渡地区。

## 4 算法验证与结果分析

利用航空像片进行制图能达到 95% 的精度 (Kappa 0.93)。事实上, 实地考察的视野在陡峭地势中极易受阻, 且由于栖息地界线模糊不清而需较大视场, 利用航空影像进行目视判读能清晰辨别地物<sup>[13]</sup>。

在众多自动化方法中, 最大似然比分类 (MLC) 获得 66% 的精度 (表 1)<sup>[21, 22]</sup>。从图 4a 看

表 1 不同制图技术的精度

Tab 1 Accuracies of different methods

方法	参考点的数目	整体精度	Kappa系数
API	322	93%	0.93
MLC	547	66%	0.58
加入纹理的 MLC	547	74%	0.7
MOOSC	547	94%	0.92

出,很多孤立的噪声像元位于同质的树林地;低地树林(暗绿色)被错误地分至落叶林地(蓝绿色)。利用 $3 \times 3$ (12m)窗口加入纹理信息至MLC后,大部分噪声能被消除(图4b),然而很多类

别之间的光谱混淆仍然存在。因此,加入纹理信息后能提高整体精度达74%(表1),但仍然低于项目规定的80%最低精度水平。

表2 MOOSC精度评估

Tab 2 Accuracy assessment of MOOSC method

	低地树林	灌木地	灌木草地	草地	山区树林	落叶性造林地	岩石土壤	市区	水体	行合计
低地树林	145	2	0	0	1	3	0	0	0	151
灌木地	0	43	9	1	1	0	0	0	0	54
灌木草地	0	1	69	3	0	0	0	0	0	73
草地	0	3	4	104	0	0	3	0	0	114
山区树林	0	0	0	0	26	0	0	0	0	26
落叶性造林地	0	0	0	0	0	42	0	0	0	42
岩石土壤	0	0	0	0	0	0	20	0	0	20
市区	0	0	0	0	0	0	0	29	0	29
水体	0	0	0	0	0	0	0	0	28	28
列合计	145	49	82	108	28	45	23	29	28	537

类别	使用者精度	生产者精度
低地树林	95	100
灌木地	84	88
灌木草地	95	84
草地	91	96
山区树林	100	93
落叶性造林地	100	93
岩石土壤	100	87
市区	100	100
水体	100	100

MOOSC方法应用纹理(GLCM)、NDVI红波段、尺寸及高程(DEM)五个决策准则于决策树的不同层次,有效去除了低地树林与落叶性林地之间的所有混淆,达到94%的高整体精度水平(Kappa 0.92)(表2及比较图4a、b和c),其中大约4%的误差源于三个过渡类别之间的界线:草地、灌木地及灌木草地(表2)。实验中,我们发现大约16%的灌木草地被错误分类为灌木地,因此灌木地的使用精度为84%;灌木草地的生产精度为84%。由于并非所有灌木地都是常绿,故不能经常假设灌木地与草地的高光谱反差,使精度难以进一步提高。然而,所获得的最低精度仍然高于规定的80%最低精度水平。此外,利用航空像片制图需要150人工作日,相比之下,MOOSC方法只需44人工作日(表3)。也就是说,MOOSC方法制图的成本只是利用航空像片制图的三分之一,但却能获得相似的精度,因此MOOSC

方法更具优越性。

表3 以1:10 000比例尺覆盖100km<sup>2</sup>的栖息地测量中资料获取及处理的相对成本(\$US)

Tab. 3 Estimated costs for air photo interpretation and MOOSC method

	彩色航空像片	KONOS
图像数目	70*	1+ 70* *
分辨率(m)	0.2	4
图像材料成本(US\$)	960	2 460
时间(h)成本***	250/5 000	6/120
- 地理参考及镶嵌		
时间/成本 - 地形校正	N/A	24/480
时间/成本 - 判读及制图	800/16 000	160/3 200
时间/成本 - 实地考察	160/3 200	160/3 200
人工作日合计	150	44
项目成本合计	25 160	9 460
加入资料获取之成本	33 160* * * *	12 460* * * * *

\* 50幅航空像片用于立体观察及制作数位正射像片作为制图底图,另外20幅摄于不同日期的像片以抵消地形阴影

\*\* 一幅KONOS图像加上航空像片以辅助精度评估

\*\*\* 每小时US\$ 20

\*\*\*\* 租用飞机一天成本为\$ 6 475

\*\*\*\*\* KONOS拍摄成本为\$ 3 000

## 5 讨论

基于像元的MLC分类,虽然在加入纹理后能够消除大部分噪声,但它不能减少类别之间的光谱重叠。MOOSC方法较基于像元分类法的优越性

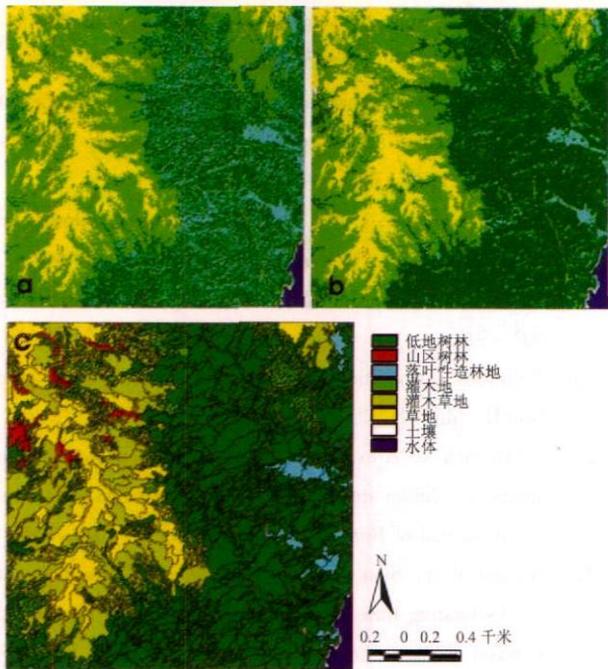


图 4 a. MLC 分类结果图像, 显示较多噪声;  
b. 基于纹理的 MLC 分类结果图像, 显示较少噪声;  
c. MOOSC 分类结果图像

Fig. 4 a. MLC classification result b. MLC classification with texture measures c. MOOSC classification result

在于运用分割的思想, 减少了类别内的变化, 并于决策过程中增加辅助信息。MOOSC 方法的分类效果之所以优越, 是因为空间及光谱的变化特性被逐渐削弱, 剩余的更难区分的类别用更高层次、更敏感地进行检查。本文提出的 KONOS 图像的 MOOSC 分类方法, 较其他中等解析度传感器影像进行栖息地分类的研究能达到更高精度、且成本较低。基于 MOOSC 方法的栖息地制图方法, 其分类精度较高, 且成本仅约为传统航测制图成本的三分之一。虽然航空像片较 KONOS 影像便宜, 但 MOOSC 方法的半自动实现方式, 比全手工的航测成图节省更多人力物力。再者, 由于个别需要地理参考、镶嵌及立体检查的航空像片不会和待处理的 KONOS 图像数目的显著增加相配, MOOSC 的时间成本优势随着研究范围大小的增加而扩大。

## 6 结论

试验结果显示, MOOSC 方法精度高于美国植被制图标准, 也高于香港已有的类似研究成果。根据本研究的结果, 基于 MOOSC 方法对 KONOS 多光谱影像的空间与光谱特征精确的开发, 能交

互式配置空间及光谱阈值, 具有较大的灵活性。因此, 基于 VHR 多光谱卫星影像 (如 KONOS 卫星影像) 的 MOOSC 方法可望取代传统的航测判读成图, 成为制作 1: 10 000 比例尺动植物栖息地生态环境制图的有效方法。

## 参考文献

- [1] Ashworth J M, Corlett R T, Dudgeon D, Melville D S, Tang W S M. Hong Kong Flora and Fauna Computing Conservation World Wide Fund for Nature, 1993
- [2] Walton D D. Northumberland National Park Phase one habitat survey. Report of survey results presented to NNPA and English Nature. Northumberland National Park report. Berwick-upon-Tweed, 1993
- [3] Mehner H, Cutler M E J, Fairbairn D, Thompson G et al. Remote sensing of upland vegetation: the potential of high spatial resolution satellite sensors. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, 13: 359~369
- [4] 香港环境保护署 (Environmental Protection Department). Environmental Baseline Survey: Ranking Based on Conservation Value, 2003
- [5] 张翠萍, 牛建明, 董建军等. 植被制图的发展与现状. *中山大学学报 (自然科学版)*, 2005, 44 (2): 245~249
- [6] 程维明, 刘海江等. 中国 1: 100 万地表覆被制图分类系统研究. *资源科学*, 2004, 26 (6): 2~8
- [7] 张翠萍, 牛建明, 董建军等. 基于 KONOS 数据的植被制图与植被空间格局——以五分地沟试验区为例. *生态学报*, 2006, 26 (2), 449~456
- [8] 张翠萍, 牛建明, 董建军等. 基于 KONOS 的人工林地识别研究. *中山大学学报 (自然科学版)*, 2007, 46 (3), 93~97
- [9] Brookes A M, Furse M T, Fuller R M. An assessment of the land cover map of Great Britain within headwater stream catchments for four river systems in England and Wales. R. Alexander and A M Illington (eds). *Vegetation Mapping* Wiley, Chichester, 2000, 177~192
- [10] Slater J, Brown R. Changing landscapes: Monitoring environmentally sensitive areas using satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21: 2753~2767
- [11] Mather P M. *Computer Processing of Remotely Sensed Images: An introduction*. London, John Wiley & Sons, 1999, 292
- [12] Keramitsoglou I, Sarinveis H, Kianoudis C T, et al. The performance of pixel window algorithms in the classifica-

- tion of habitats using VHSR imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2006, 60: 225~238
- [13] Baatz M, Schape A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In J. Strobl et al. (eds). *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII: Beiträge zum AGI-Symposium*. Salzburg: Karlsruhe: Herbert Wichmann Verlag, 2000.
- [14] Toutin T, Cheng P. Demystification of KONOS. *Earth Observation Magazine*, 2000, 9.
- [15] Nichol J E, Law K H, Wong M S. Empirical correction of low sun angle images in steeply sloping terrain: a slope-matching technique. *International Journal of Remote Sensing* 2006, 27: 629~635.
- [16] McCoy R M. *Field methods in remote sensing*. The Guildford Press, New York, 2005, 159.
- [17] Coburn C A, Roberts A C B. A multiscale texture analysis procedure for improved forest stand classification. *International Journal of Remote Sensing* 2004, 25: 4287~4308.
- [18] Kanemasu E T. Seasonal canopy reflectance patterns of wheat, sorghum and soyabean. *Remote Sensing of Environment* 1974, 3: 43~47.
- [19] Nichol J E, Lee C M. Urban vegetation monitoring in Hong Kong using high resolution multispectral images. *International Journal of Remote Sensing* 2005, 26 (5): 903~919.
- [20] Definiens eCognition User Guide 4. Definiens Imaging GmbH, Munich, 2004.
- [21] Pekkarinen A. A method for the segmentation of very high spatial resolution images of forested landscapes. *International Journal of Remote Sensing* 2002, 27: 629~635.
- [22] Wulder M A, Skakun R S, Kurz W A, White J C, et al. Estimating time since forest harvest using segmented Landsat ETM+ imagery. *Remote Sensing of Environment* 2004, 93: 179~187.

## Habitat Mapping in Rugged Terrain using KONOS Satellite Images

WONG Man Sing, Nichol Janet Elizabeth

(Department of Land Surveying and Geo-Informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

**Abstract** Ecological mapping in the tropics is difficult due to the heterogeneity of the vegetation, the nature of the terrain which is often highly dissected, and general problem of determining ecological boundaries which may be indistinct, even to a field observer. There are no studies in the literature discussing the successful mapping of vegetation or habitats over large areas. In the last 20 years, two habitat surveys in the form of vegetation maps have been completed by Hong Kong government departments and private consultants, with inadequate accuracy and poor results. Since these previous projects used only medium spatial resolution sensors (Landsat and Satellite pour l'Observation de la Terre (SPOT)), it may be possible to produce more accurate ecological maps using the new generation of Very High Resolution (VHR) satellite sensor images.

Traditionally, habitat mapping has used Aerial Photographic Interpretation (API). However, 45 air photos are required to cover the study area (Shing Mun and Tai Mo Shan country parks in Hong Kong) compared with a single KONOS scene. Additional advantages of KONOS include spatial, spectral and temporal consistency. Therefore, if a suitable methodology for automatic habitat mapping can be developed, reduced costs and less processing time would be required.

This study attempts to develop a methodology for detailed ecological mapping based on a suite of integrated image processing techniques, and with stated accuracy levels for KONOS images – “Multi-scale object-oriented segmentation with decision tree classification” (MOOSC). The results show that 95% overall accuracy was achieved using API and 94% was achieved using MOOSC method when the results were referenced to GPS field data. These findings support the applicability and feasibility of MOOSC method, and it was only one third of the cost comparing with API.

**Key words** Habitat mapping, KONOS, structural classes, segmentation