# 基于对象的最优尺度建筑物信息提取方法

张立民,张建廷,徐 涛

(海军航空工程学院 电子信息工程系,山东 烟台 264001)

摘 要:针对基于像素分析方法不适用于高分辨率影像信息提取的问题,提出一种基于对象的图像分析方法来进行城市建筑信息提取。采用多分辨率图像分割方法得到图像对象,提出非监督的最优尺度判定方法解决单尺度分割造成的欠分割和过分割问题。在对象分类提取过程中,结合 LiDAR 数据的地形表面高程信息和光谱信息对建筑物进行提取,并利用尺寸、空间位置等信息进行误分类修正。实验区域共提取出 18 个建筑目标,结果表明所提出的方法有效可行。

关键词: 遥感影像; 图像分割; 尺度; 基于对象图像分析; 数字表面模型
中图分类号: TP391.4 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2012)12-4789-04
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.102

# Object-based building extraction with optimal image segmentation scales

ZHANG Li-min, ZHANG Jian-ting, XU Tao

(Dept. of Electronic & Information Engineering, Naval Aeronautical & Engineering University, Yantai Shandong 264001, China)

**Abstract**: In high resolution remote sensing images, the traditional pixel-based methods are inefficient when extracting information from images. This paper introduced an object-based image analysis method to extract building information. At the beginning, it used a multi-resolution segmentation method to divide the image into segments, which were image objects that implemented further analysis and classification. Through the intra-segment and inter-segment heterogeneity measures, it used an unsupervised optimal scale method to segment the image. In order to get a better segment results, it segmented the under-segment and over-segment regions caused by single scale segmentation with a smaller scale and merged respectively. To classify the image objects, it used the digital surface model (DSM) derived from LiDAR data and spectral information together to analyze and get properties of buildings, and extracted coarsely by height distribution and the green ratio of objects the building. To get a refined building extraction, it used spatial information such as size and position. In the final result, experiment extracted 18 buildings objects from the high resolution urban image. The result shows the method is efficient and feasible. **Key words**: remote sensing image; image segmentation; scale; object-based image analysis; DSM

## 0 引言

遥感影像数据是地球表面物体信息获取的主要来源,要想 获取地物信息,必须进行图像分析和处理。当前各种卫星(如 IKONOS、Quickbird、GeoEye-1、WorldView-2等)和机载遥感设 备已经能够提供"1m级范围"的高空间分辨率影像。而传统 的基于像素的图像分析方法,主要对图像的最小单元(即像 素)进行处理,由于像素只能代表地物目标的很小部分特征, 因此基于像素的方法并不适用于高分辨影像处理<sup>[1]</sup>。在地面 高分辨影像中,地面物体的阴影、树冠之间的空隙等都会降低 基于像素方法的分类精度,并且容易产生"椒盐现象"。

基于对象的图像分析(object-based image analysis,OBIA) 方法为高分辨率图像分析提供了一种解决方案<sup>[2,3]</sup>,与地理信 息系统软件中的面向对象(object-oriented)概念相一致<sup>[4]</sup>。基 于对象方法首先将图像分割成内部属性相对一致的片段或者 对象,然后利用这些对象的统计特性进行地物的分类和识别。 基于对象方法降低了同一类地物内部光谱变化对分割的影响, 并且利用了空间和背景信息,如尺寸、形状、纹理以及拓扑关系 等<sup>[5]</sup>。相关方面可以参阅文献[4]的综述。 在高分辨的城区影像中,树木和草地的光谱信息与背景信息相似,建筑物和道路的光谱及背景也难以进行分离,而且存在的阴影也加大了图像分析的难度。当前较为有效的方法是引人机载激光雷达(light detection and ranging,LiDAR)数据作为额外的波段,与遥感影像一起参与图像的分割过程<sup>[6-9]</sup>,虽然 LiDAR 数据在基于对象的城市要素提取中获得较好的效果,但综合使用光谱、LiDAR 数据和基于对象分析的方法不多,并且在第一步对象生成的分割算法中的尺度参数选择缺乏定量分析。

本文的目标是正确提取高分辨率城区建筑目标,采用的是 0.5 m分辨率的遥感影像和 2.5 m分辨率的从 LiDAR 中获得 的 DSM 数据。对图像进行多分辨率分割,并且使用非监督尺 度选择方法进行尺度参数的选取,对分割形成的图像对象使用 基于对象图像分析的方法,主要利用 DSM 高度信息将建筑物 与高于地面的树木作信息提取出来,并利用影像光谱信息和高 度分布特征将建筑物与树木区别,最终提取出建筑目标。

## 1 研究城市区域数据

研究区域采用的是 Woolpert 公司的 ADS40 高分辨率航空

#### 收稿日期: 2012-05-02; 修回日期: 2012-06-04

作者简介:张立民(1966-),男,教授,博士,主要研究方向为军用电子系统仿真、图像处理(iamzlm@163.com);张建廷(1986-),男,博士研究 生,主要研究方向为军用电子系统仿真、图像理解与识别;徐涛(1985-),男,博士研究生,主要研究方向为军用电子系统仿真. 遥感影像和 LiDAR 数据,航空影像有三个光谱段,分别是红色 波段、绿色波段和蓝色波段,分辨率为 0.5 m/像素,影像尺寸 为 2002 × 2002 像素,研究区航空影像如图 1(a)所示。

LiDAR 数据可以提供高密集、高精度、高清晰的基础地理 信息数据,本文使用从 LiDAR 原始数据中提取的数字表面模 型(digital surface model,DSM),利用地面物体的高度信息来辅 助图像分析工作,使用的 DSM 数据分辨率为 2.5 m/像素,尺 寸为 401 × 401 像素,DSM 数据的渲染如图 1(b)所示。



#### 图1 研究区域

## 2 图像对象的生成

在基于对象图像分析方法中,城区建筑物信息的提取分为两个步骤:a)使用一定的分割方法将图像分割成内部属性(光谱和空间范围)相对一致的图像对象;b)利用图像对象的特征属性进行地物的分类处理。在 a)的分割中采用的是 Baatz 等人<sup>[10]</sup>提出的多分辨率分割方法,并且对分割的尺度参数选择进行了优化。

## 2.1 多分辨率影像分割

多分辨率分割方法采用的是自下而上的区域合并方法,从 单个像素对象开始,在每一步,相邻对象按照最小异质性合并 成为一个大的对象。对象是否合并的判断标准是相邻对象的 异质性,当异质性超过某个设定阈值时,不进行合并。这种异 质性阈值越大,最终得到的图像对象越大,因此可以将这种阈 值看成是尺度。

异质性主要考虑对象的颜色和形状,异质性f的计算可以 表示为

$$f = w_{\rm band} \times \Delta h_{\rm band} + w_{\rm shape} \times \Delta h_{\rm shape}$$

$$w_{\text{band}} \ge 0, w_{\text{shape}} \ge 0, w_{\text{band}} + w_{\text{shape}} = 1$$
 (1)

其中:w<sub>band</sub>、w<sub>shape</sub>分别为光谱异质性和形状异质性权重。对于 光谱异质性 Δh<sub>band</sub>,在多波段图像中,各波段赋予权重 w<sub>c</sub>,则图 像对象在合并前后的光谱异质性可表示为

$$\Delta h_{\text{band}} = \sum_{c} w_c \left[ n_m \times \sigma_{c,m} - (n_1 \times \sigma_{c,1} + n_2 \times \sigma_{c,2}) \right]$$
(2)

其中: $n_m$  表示合并后图像对象的像素数; $n_1$ 和 $n_2$ 表示两对象 融合前各自的像素数; $\sigma_c$ 表示的是该波段的统计标准差。形 状异质性由对象的光滑度  $\Delta h_{smooth}$ 和紧致度  $\Delta h_{compl}$ 来描述,具体 可以表示为

$$\Delta h_{\text{shape}} = w_{\text{compt}} \times \Delta h_{\text{compt}} + w_{\text{smooth}} \times \Delta h_{\text{smooth}}$$
(3)

$$\Delta h_{\rm smooth} = n_m \times \frac{l_m}{b_m} - (n_1 \times \frac{l_1}{b_1} + n_2 \times \frac{l_2}{b_2}) \tag{4}$$

$$\Delta h_{\rm compt} = n_m \times \frac{l_m}{\sqrt{n_m}} - (n_1 \times \frac{l_1}{\sqrt{n_1}} + n_2 \times \frac{l_2}{\sqrt{n_2}})$$
(5)

其中:*l* 是图像对象的边缘长度;*b* 是图像对象包围盒的边缘长度;*w* 为权重。

尺度参数决定了图像分割停止的条件,在相邻对象融合之前,需要计算异质性f,当f超过给定的尺度参数时,分割结束。 不同尺度参数条件下,分割产生的效果不同,尺度大时,容易产 生欠分割现象,而尺度小时,会出现过分割现象。如图2所示, 尺度分别为150、100、50、25。从图中可看出,尺度150与其他 相比,建筑物边缘分割不精确,随着尺度减小,边缘分割得到了 增强,但是当尺度达到25时,已经明显出现过分割现象。



## 2.2 非监督最优尺度选择

从2.1 节可知,选择不同的尺度参数会产生不同的分割结 果,而分割结果又会影响之后的分类信息提取过程,因此需要 在分割时使用最优尺度。选择最优尺度的方法有视觉方法、监 督评估方法以及非监督方法三种。视觉方法应用较多但更多 依赖人的主观判断<sup>[11]</sup>;监督方法则需要经验数据,而经验数据 的获取是困难和耗时的<sup>[12]</sup>;非监督方法效率高且不存在主观 因素的影响。广泛接受的一种对分割好坏的评价有四个标 准<sup>[13]</sup>:a)区域是均匀的、同质的;b)区域与其相邻区域是明显 不同的;c)区域内部单一并且没有孔洞;d)区域边界简单,空 间位置准确并且边缘整齐。从文献[13]可知,对于高分辨率 影像,前两个标准是易于实现的。因此,本文所采用的尺度选 取的标准是区域内部的均质性和相邻区域的异质性最大。

在本文的研究中,红、绿、蓝光谱波段数据被用于图像的分割,并且每个光谱波段数据赋予相同的权重。为了对每一种尺度得到的分割结果进行评估,使用一种全局内部同质性指标 V 和全局对象间异质性指标来计算。

全局内部同质性指标采用分割对象 *i* 的标准差 *v<sub>i</sub>* 和面积 *a<sub>i</sub>* 来计算,*a<sub>i</sub>* 用对象的像素数表示。假设分割后共有 *n* 个对 象,表达式为

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i \times v_i}{\sum_{i=1}^{n} a_i}$$
(6)

对象之间的异质性指标采用全局 Moran 指数表示<sup>[14]</sup>,表达式为

$$MI = \frac{n \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} w_{ij} (y_i - \bar{y}) (y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2 (\sum_{i \neq j} \sum_{w_{ij}} w_{ij})}$$
(7)

其中: $w_{ij}$ 为空间关系权值,当对象 i n j相邻时, $w_{ij}$ =1,否则  $w_{ij}$ =0; $y_i n y_j$ 为对象 i n j光谱均值;  $\overline{n y}$ 为整幅图像的光谱 均值。V越小,对象内部的均质性越好;  $\overline{n MI}$ 越小,相邻对象 间的异质性越大,分割效果越好。为了将两种指标合并,必须 先对在不同尺度下得到的V和 MI进行归一化处理,归一化表 达式为

$$\begin{cases} V_{\text{norm}} = (V - V_{\text{min}}) / (V_{\text{max}} - V_{\text{min}}) \\ MI_{\text{norm}} = (MI - MI_{\text{min}}) / (MI_{\text{max}} - MI_{\text{min}}) \end{cases}$$
(8)

这样,分割尺度的全局评价 QS 可以表示为

$$QS = V_{\text{norm}} + MI_{\text{norm}}$$
(9)

由于采用的是红绿蓝和 DSM 四个波段数据,因此每一种 尺度可以分别得到四个全局评价:RQS、GQS、BQS 和 DQS。为 此可以取波段评价的均值(RQS + GQS + BQS + DQS)/4 作为该 尺度条件下的总体评价。总体评价值最低的尺度参数作为最 优分割尺度。

为了进行最优尺度的选取,对图像采用一系列不同的尺度 参数进行分割,然后计算分割的总体评价值。尺度参数从10 开始递增到220,递增变化量为10,得到如图3所示的各尺度 总体评价。从图3中可以看出,在尺度参数为80时具有最低 总体评价值,因此选取尺度参数为80。



#### 2.3 多尺度分割优化

对于高分辨率遥感影像使用单一尺度进行分割,仍然会出 现过分割和欠分割现象,这是因为大的尺度参数会得到面积大 的同质区域,这时小的目标会被合并到一个对象中。在本文的 背景下,最明显的是建筑物的边界被周围非建筑背景合并。同 样,小尺度参数不利于大面积对象的提取。因此,需要在全局 最优尺度的基础上对欠分割和过分割对象进行新的尺度分割。

对于欠分割的对象,其内部包含的地物通常多于一种,因 此内部同质性低。与相邻对象的异质性决定其是否进行细化, 异质性大说明有明显的对象特征,不需要进行细化。在此,选 择与周围对象异质性小的欠分割对象进行重分割,这与建筑物 边缘和建筑顶部材质几乎相同是一致的,可以达到将建筑边缘 细化的目的。由于建筑物顶部均质性较之其他地物要高,因此 存在过分割现象。过分割对象内部均质性较高,并且与邻域对 象异质性小,可据此将过分割对象进行合并。

为确定需要继续使用小尺度进行分割的对象,对每一个对象使用局部的内部同质性和邻域异质性计算,使用标准差 v<sub>i</sub> 作为对象内部同质性判断标准,对相邻异质性则采用一种局部 的 Moran 指数计算对象的空间自相关性<sup>[15]</sup>,计算表达式为

$$I_i = z_i \sum_{j \neq i} w_{ij} z_j \tag{10}$$

其中:z<sub>i</sub>,z<sub>j</sub>表示与均值的偏差,只有相邻的对象被计算,也即对 相邻对象 w = 1,其他 w = 0。对于多波段数据,取各波段数据的 平均值表示其标准差和 Moran 指数值。在这里取对象标准差和 Moran 指数结果最大值的 25% 作为阈值,来对最优尺度得到分 割结果进行进一步的提取,则欠分割区域集合 USeg 为

$$\begin{aligned} \text{Useg} &= \{ R_i \mid & v_i \geq 25\% \max_{1 \leq j \leq n} \left( v_j \right), \\ & I_i \leq 25\% \max_{1 \leq i \leq n} \left( I_j \right) \} \end{aligned} \tag{11}$$

而过分割区域 OSeg 表示为

0s

$$eg = \{ R_i | v_i \leq 25\% \max_{\substack{1 \leq j \leq n}} (v_j), \\ I_i \leq 25\% \max_{\substack{1 \leq i \leq n}} (I_j) \}$$
(12)

对欠分割区域继续使用小的尺度进行分割,对过分割区域 则根据其相邻对象的光谱差异进行区域合并,若两相邻对象光 谱的均值差小于某个设定阈值时,则两对象合并。由以上方法 得到的欠分割区域和过分割区域如图4中的灰色区域所示。

## 3 建筑信息提取

为了从高分辨率影像中提取建筑信息,需要分析建筑物作

为地物并区别于其他地物的特征。建筑物是明显高于周围物体的,利用 LiDAR 的 DSM 数据中的高度信息,易于将非建筑 类目标(如道路、草地等)与建筑目标分离,并且建筑物面积往 往大于其他地物目标,可以作为一种特征将不易分类的小目标 区分开。建筑物顶部的形状和表面纹理有一定规律但样式较 多,难以总结归纳,不能作为区分的特征。从基于对象分析的 角度,使用从 DSM 得到的高度信息,并利用光谱信息辅助来进 行建筑信息的提取。建筑信息提取过程如图 5 所示。



#### 图5 建筑信息提取流程

在第二阶段的第一步设定一个高度阈值 H<sub>a</sub>,该阈值取值 时选取稍高于地面高度值即可,对于地面高度变化复杂的情况,可以通过不断调整获得最佳阈值。将图像中的对象分为高 于 H<sub>a</sub>和低于 H<sub>a</sub>的两部分,这样易于将道路、阴影等与建筑物 区分开。在高于 H<sub>a</sub>的对象中,主要包含建筑物和树木,从图 1 中 DSM 的分布可以看出,树木对象的高度分布与建筑物相比 呈现离差大的特点,并且树木对象在光谱信息上具有明显的特 征,使用一种绿色度比率指标 GI 来计算,以对象的绿色波段均 值与三个光谱段均值之和的比率来表示为

GI = meanGreen/(meanGreen + meanRed + meanBlue)

这样,绿色度比率大且高度分布离差大的植被对象可以被分离 出去。

经过上述步骤之后,仍然会有部分非建筑对象未被分离, 这时,考虑到建筑物目标一般具有比较大的面积,将相邻区域 合并后,孤立的非建筑区域可以通过面积来加以区分。由于建 筑物的部分区域会满足上述异于建筑对象的特征,因此会被分 离出去。这部分目标的主要特征是与建筑物对象相邻,并且相 邻边界占整个对象边界长度较大部分,因此可以把与建筑对象 相交边界占对象总边界 50% 以上的对象分类为建筑,这样对 建筑目标的外边界进行了补全。

## 4 实验结果与讨论

采用2.2节分析得到的最优尺度80对影像进行多分辨率 分割,得到的结果如图6所示。在图6(a)中结果的基础上,使 用2.3节的多尺度分割优化方法进行欠分割区域和过分割区 域的重分割。欠分割区域使用新的尺度20进行分割。对过分 割区域,计算相邻光谱差异范围为[8.3,93.1],这里取30作为 区域合并的阈值,对低于该阈值的对象进行合并,最终的分割 效果如图6(b)所示。从图6(a)与(b)比较可以看出,(b)对 不同地物采用了不同的分割尺度,均质性强的建筑物区域对象 被合并为更大的对象,而一些均质性低且与相邻对象异质性低 的区域进行了更小尺度的分割,这有利于后续分类的进行和分 类效果的提高。



图6 分割结果

最终提取的建筑物结果如图 7(a)所示,共得到 18 个分类 目标,目标信息较为明确。与目测结果比较,仍然有 4 个面积 较小的建筑未被提取出来。一方面这些建筑的高度较低,容易 被树木等掩盖;另一方面建筑顶部高度变化较大,且处于阴影 中,不易区分。对未提取出的建筑物进行手工选择,得到图 7 中(b)的效果,并对所提取出的建筑和未提取建筑进行像素统 计,最终得到提取出的建筑面积占总建筑面积大约为 94.3%, 可以看出,本文方法能够达到较高的准确度。



图7 提取效果

# 5 结束语

高分辨率遥感影像提供了更多的地面细节,使得传统的基于像素的方法不再适用。本文使用基于对象图像分析方法,对 光谱分辨率0.5 m和LiDAR数据分辨率2.5 m的高分辨率城 区进行了建筑物信息的提取;使用非监督最优尺度进行了多分 辨率图像分割,得到图像对象;之后针对部分地物对象仍然存 在的欠分割和过分割问题,分别进行了重分割和合并,使得生 成的图像对象达到最好的分割效果。在图像对象的分类过程 中,利用 LiDAR 数据 DSM 高度信息和对象高度分布离差,将 建筑物对象与其他对象分离,并通过尺寸、空间位置等信息进 行了建筑对象的细化,最终提取出建筑物信息。实验结果证明 本文方法有效、可行,为高分辨率影像建筑信息提取提供了一 种较为通用的方法,提取精度可以达到 94.3%。对于非建筑 信息的提取以及在没有 LiDAR 数据条件下城区信息的提取, 有待进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] TIMOTHY G, GUY S B, STEFAN W M. Comparing object-based and pixel-based classifications for mapping savannas [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2011,13(6):884-893.
- [2] SHRUTHI R B V, KERLE N, JETTEN V. Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery [J]. Geomorphology,2011,134(3-4):260-268.
- [3] YU Q, GONG P, CHINTON N, et al. Object based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2006,72(7):799-811.
- BLASCHKE T. Object based image analysis for remote sensing [J].
   ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010, 65(1):2-16.
- [5] FREEK V D M, STEVEN M D J. Remote sensing image analysis: including the spatial domain [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004;211-236.
- [6] ANTONARAKIS A S, RICHARDS K S, BRASINGTON J. Objectbased land cover classification using airborne LiDAR [J]. Remote Sensing of Environment,2008,112(6):2988-2998.
- [7] 余柏蒗,刘红星,吴健平.一种应用机载LiDAR数据和高分辨率 遥感影像提取城市绿地信息的方法[J].中国图象图形学报, 2010,15(5):782-789.
- [8] 谭衢霖, JOHANSEN S. 基于像元和对象分类的城区植被高分辨率遥感制图比较研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2011, 19
   (3):441-448.
- [9] 苏伟,李京,陈云浩,等.基于多尺度影像分割的面向对象城市土 地覆被分类研究——以马来西亚吉隆坡市城市中心区为例[J]. 遥感学报,2007,11(4):5212530.
- [10] BAATZ M, A SCHAPE. Multiresolution segmentation an optimization: approach for high quality multi-scale image segmentation [J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 58 (3-4):12-23.
- [11] PAGLIERONI D. Design considerations for image segmentation quality assessment measures [J]. Pattern Recognition, 2004, 37 (8): 1607-1617.
- [12] ZHANG H, FRITTS J, GOLDMAN S. Image segmentation evaluation: a survey of unsupervised methods [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(2):260-280.
- [13] HARALICK R, SHAPIRO L. Image segmentation techniques [J].
   Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1985, 29 (1):100-132.
- [14] FOTHERINGHAM A, BRUNSDON C, CHARLTON M. Quantitative geography: perspectives on spatial analysis [M]. California: Sage Publications, 2000.
- [15] ANSELIN L. Local indicators of spatial association: LISA[J]. Geographical Analysis, 1995, 27(2):93-115.