

面向对象的高分辨率遥感影像分割分类评价指标

吴波, 林珊珊, 周桂军

(福州大学空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室, 福建省空间信息研究中心, 福州 350002)

摘要: 由于总体精度或 Kappa 系数的遥感影像分割/分类评价指标, 对影像分割图斑的几何形状等真实结构未能有效刻画, 不能有效体现面向对象处理中边缘像元的真实分割/分类效果。本文基于分割对象的几何结构, 提出了5个面向对象的高分辨率遥感影像分割/分类精度评价指标: 过分割、欠分割、边缘匹配、分割块数, 以及形状误差, 并在 IDL 平台实现了一个面向对象影像分析与评价的原型系统。通过对福州市 QuickBird 影像的 Meanshift 分割评价, 证实了其指标能够刻画出分割对象的深层结构, 并符合地物对象分割/分类的真实分布。实验还表明, 该评价指标在确定分割算法的参数方面具有重要的应用价值。

关键词: 高分辨率遥感影像; 分割/分类评价; 面向对象; 几何结构

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00567

1 引言

IKONOS 与 QuickBird 等具有较高的空间分辨率图像^[1], 能在较小的空间尺度上观察地表的细节变化, 精确获取地物信息^[2]。目前, 其广泛应用于农业、土地利用、自然资源和环境调查、城市规划、自然灾害监测、海岸带和海洋制图等各个方面^[3-6]。

为了提高分类精度, 人们通常采用面向对象的影像分割, 再从分割对象中提取各种光谱、纹理、形状等影像特征来降低地物光谱相互混合的现象^[7]。譬如, 面向对象的 e Cognition 处理平台具有两个重要的特征: 一是充分利用了对象信息(色调, 形状, 纹理, 层次), 类间信息(与邻近对象, 子对象, 父对象的相关特征); 二是能利用多尺度信息分割, 形成不同分辨率等级的图斑, 并在最适宜的尺度层中提取^[1, 8]。由于 e Cognition 的强大信息处理能力是以影像分割为基础的, 因而, 遥感影像的分割及其分割结果的评价成为面向对象处理技术的关键问题。然而, 虽然 e Cognition 在分割/分类等高分辨遥感影像处理中取得了重大突破, 却仍然是以目视判读或传统像元统计的评价。目视判读方式无法给出定量评价。另一方面, 像元统计方式是通过在分割/分类结果中抽取独立样本, 利用总体精度或 Kappa 系数来评价, 没有对影像分割/分类图斑的纹

理与几何形状等真实结构进行有效刻画, 因而不能有效体现边缘像元分割/分类的真实情况^[9]。由于分类/分割的错误大多在类别的边界像元中, 那么, 像元的评价指标不考虑抽样样本像元的空间关系, 可能导致虽然总体精度或 Kappa 系数较高, 但存在大量孤立像元或小图斑的现象; 或者虽然具有不同的分割/分类结果, 却具有相近的评价数值。图1是高分辨率遥感影像分割中可能出现的各种情况。图1(a)表示一种地物被分成了多个小块, 而且每一个小块的大小不等, 出现了过分割现象; 图1(b)表示多种地物被分成了一个块, 没有将不同地物进行有效的分割, 造成了欠分割现象; 图1(c)表示分割的边缘和真实的地物对象的边缘并不完全重合, 形成了边缘匹配误差; 图1(d)表示一种地物对象被分成的块数, 一个地物被分成的块数越多, 则表明分割结果就越差; 图1(e)表示分割结果的形状和地物对象形状的差异, 一般地如果形状差异越大, 则分割结果就越差。

显然, 用像元统计的 OA 或者 Kappa 系数评价指标, 难以反映以上地物对象的分割/分类结果与真实情况不一致的现象。这表明需要针对边缘像元或图像几何结构进行刻画, 设计出面向对象的分割/分类评价指标^[10], 以提高分割结果评价的精确性和客观性^[11]。本文参考文献[12], 针对高分辨遥感影

收稿日期: 2013-01-21; 修回日期: 2013-03-11.

基金项目: 福建省科技重点项目(2011Y0036)。

作者简介: 吴波(1975-), 男, 博士, 副教授, 主要从事遥感图像处理及时空数据挖掘等方面的研究。E-mail: wavelet778@sohu.com

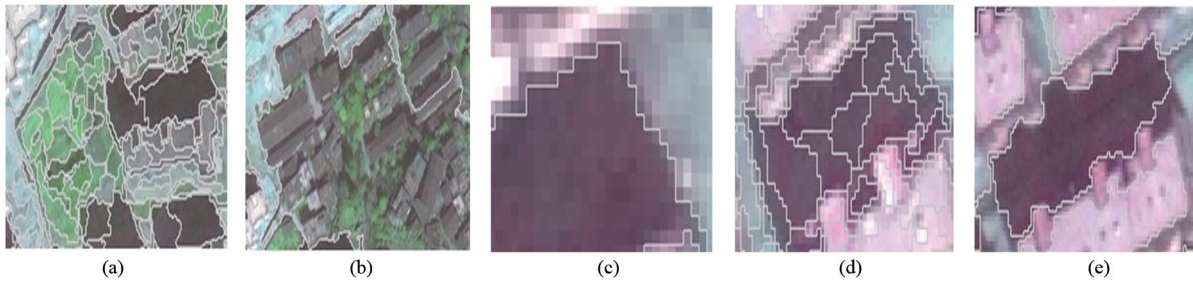


图1 面向对象的分割/分类的不匹配现象(a)过分割; (b)欠分割图; (c)边缘匹配图; (d)分割块数图; (e)形状变化

Fig.1 Some possible mismatch problems for object-based image segmentation. (a) over segmented; (b) under segmented; (c) edge location matching; (d) fragmentation number; and (e) shape change

像的特点,从分割/分类的过分割、欠分割、边缘匹配、分割块数,以及形状误差等方面设计了5个面向对象分割的评价指标。

2 面向对象的评价指标

在面向对象分割下,一个对象有可能被分成 n ($n \geq 1$)块不同大小的区域(R_i),每一个区域包含不同的像元个数,那么,每一个真实地物对象(O)和 R_i 区域中像元重合最多的区域标记为 M , M 就认为是该地物对象被正确分类的对象,其可据公式(1)计算:

$$M = \text{ArgMax} |O \cap R_i| \quad (1)$$

其中, $|\cdot|$ 表示集合内元素的数目; O 为真实对象; M 为分割对象,它们形成一个对象对,标记为 (O, M) 。下面用对象对定义面向对象的分割指标。

(1)过分割(OS):从图像分割中衍生而来,它描述了单一地物对象被分成多个对象的程度。过分割定义为:

$$OS = \sum_{j=1}^m \left[\left(\frac{|O_j \cap M_j|}{|O_j|} - 1 \right)^2 \frac{|O_j|}{\sum_{j=1}^m |O_j|} \right] \quad (2)$$

由于影像上地物分布与组成多样性,以及成像环境的复杂性造成同一地物内部某些光谱特征存在差异,公式(2)中增加了归一化项。公式(2)反映的是 (O, M) 中 M 对象相对于 O 对象的重合程度。 OS 取值范围在 $[0, 1]$ 之间,并且 OS 越小说明两个对象的重合度就越高,分割效果就更好。

(2)欠分割(US):描述了一个分割对象中包含了几种不同的地物对象,欠分割形成的原因是不同地物之间相互混合。在实现中可能是由于分割算法设置的类间距太大,不能正确识别不同的类别。

欠分割由下面公式来计算:

$$US = \sum_{j=1}^m \left[\left(\frac{|O_j \cap M_j|}{|M_j|} - 1 \right)^2 \frac{|M_j|}{\sum_{j=1}^m |M_j|} \right] \quad (3)$$

与 OS 不同, US 反映的是 (O, M) 对象中 O 对象相对于 M 对象的重合程度。显然, US 也是在 $[0, 1]$ 之间的比值,且 US 越小说明两个对象的重合度就越高,分割效果就更好。

(3)边缘匹配度(ED):其检测两个对象边缘在一定范围(比如2个像元)内像元的重合程度,边缘匹配度由下面公式进行计算:

$$ED = \sum_{j=1}^m \left[\left(\frac{|e(O_j) \cap e(M_j)|}{e(O_j)} - 1 \right)^2 \frac{|O_j|}{\sum_{j=1}^m |O_j|} \right] \quad (4)$$

其中, $e(O_j)$ 表示对象 O_j 的边缘; $e(M_j)$ 表示对象 M_j 的边缘; ED 也是一个在 $[0, 1]$ 范围之间的比值。一般地, ED 越小说明两个对象的边缘重合度就高,分割效果就更好。

(4)分割块数(FG):是描述一个对象 O 被分成区域(R_i)的数目,这个指标从过分割现象中衍生而来,分割块数可据公式(5)计算:

$$FG = \sum_{j=1}^m \left[\left(\frac{r_j}{|O_j|} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{|O_j|}{\sum_{j=1}^m |O_j|} \right] \quad (5)$$

该公式反映一个对象中分成的区域数目和整个对象中像元的比值, FG 也是一个在 $[0, 1]$ 范围的比值, FG 越小表明分割块数就减少,分割效果就更好。

(5)形状误差(SH):是描述对象对 (O, M) 中两个对象所形成的形状相似度,形状相似度用对象的长宽比来描述,形状误差定义为:

$$SH = \sum_{j=1}^m \left(\left\| SH(O_j) - SH(M_j) \right\| \frac{|O_j|}{\sum_{j=1}^m |O_j|} \right) \quad (6)$$

该公式中的 $SH(O_j)$ 表示对象 O_j 的长宽比, 因此, SH 也是一个范围在 $[0,1]$ 之间的比值, SH 越小表明两个对象的形状相似度就越大, 分割效果就更好。

以上分割评价公式表明, 5 个指标各自侧重分割对象的不同方面, 对同种地物可以选择多个不同的指标, 因而每一个对象可以得出 5 个相应的评价指标。另一方面, 为了对影像分割/分类的总体效果进行刻画, 就需要对每种地物类型选取多个分割对象进行评价。假设同种地物的第 i 个对象 ($i=1,2,3,\dots,d, d$ 是对象总个数) 的误差记为 ERR_i , 那么利用平均误差 (ERR_AVE) 作为该地物的评价指标:

$$ERR_AVE = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d ERR_i \quad (7)$$

利用平均的概念可计算每个地物类型的 OS、US、ED、FG, 以及 SH 等指标的平均误差, 用户可以根据自己的精度要求选择满足自己的分类图。显然, 与传统以像元的评价方式不同, 本文将每个分割地块当成一个独立的对象, 并对基本的几何形状和边界进行刻画, 实现对象几何特征相关的精度评价指标。由于 OA 或者 Kappa 系数能够对影像分割/分类的总体情况进行一定程度的描述, 本文的目的不是要取代像元分割/分类的评价方法, 而是将几何形状的分割/分类评价, 作为 OA 或者 Kappa 评价指标的有效补充。

3 面向对象影像分割分类系统原型实现

以 IDL 为实现平台, 作者建立了面向对象的高分辨率遥感分割/分类综合处理与实验系统。该系统具有较高的综合性和适应性, 能够实现对输入的影像进行自动/半自动化的处理。系统面向高分辨影像分割/分类评价处理, 具有数据录入与输出、影像预处理、影像分割、特征选择与提取、可视化分析工具、影像分类、面向对象评价等功能。该系统基本功能结构如图 2 所示。主要包括: 文件输入/输出、影像预处理、特征提取与选择、影像分割/分类, 及分类评价等模块。

文件输入输出模块实现对常用数据类型的读写, 运行中间结果的存储等。可视化工具包括影像

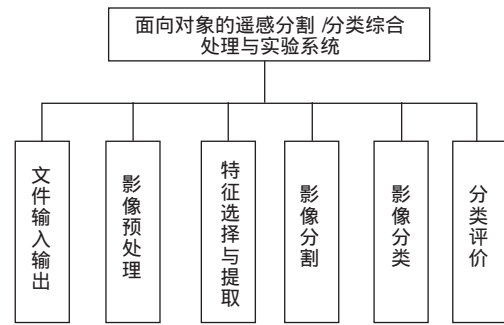


图2 系统基本功能结构

Fig.2 The basic structure of the prototype system

放大缩小, 移动, 对象拾取, 影像切换等功能。预处理模块对数据进行基本的数学运算, 如波段叠加, 波段数学运算, 各种滤波等。影像分割目前集成了均值漂移 (Meanshift)、分水岭分割 (Watershed)、区域增长 (Region Grow) 和有限竞争学习 (RPCCL) 4 种分割方法。特征提取与选择, 包括光谱特征, 几何特征和形状特征的提取与选择。分类模块包含了平行管道分类器、高斯最大似然分类器、BP 神经网络分类器、k 最邻近分类器、支持向量机分类器, 决策树分类器。评价模块实现了像元的总体分类精度和 Kappa 系数功能和面向对象的分类评价指标: 过分割、欠分割、边缘匹配、分割块数, 以及形状误差。在一般应用时, 本系统的各个模块可以单独使用, 也可以配合 ENVI 功能模块使用, 如果需要对影像进行连续地处理, 则各个模块相互联系使用。实验系统运行界面如图 3 所示。

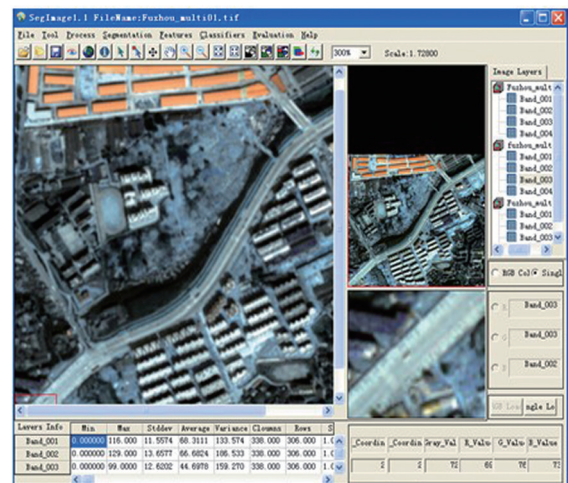


图3 面向对象分类评价的工具界面

Fig.3 The working interface of the object-based evaluation

4 影像实验分割评价及分析

为了测试以上指标的评价效果,本文选取了位于福州市的QuickBird遥感影像进行实验分析。该影像大小为 1349×1221 个像元,获取时间为2005年6月,影像中的地物类型比较丰富,地物细节表现良好,较好地代表了高分辨率遥感影像的数据特点。



图4 实验使用的QuickBird影像

Fig.4 QuickBird image used in the experiment

首先,对QuickBird全色影像和多光谱影像进行融合,融合后影像的分辨率为0.6m,融合后影像

如图4所示。为测试本文提出的分割/分类评价指标,均匀地选取了一些具有代表性的各类地物对象,以使得评价结果具有可靠性,参考分割图形结果如图5所示。

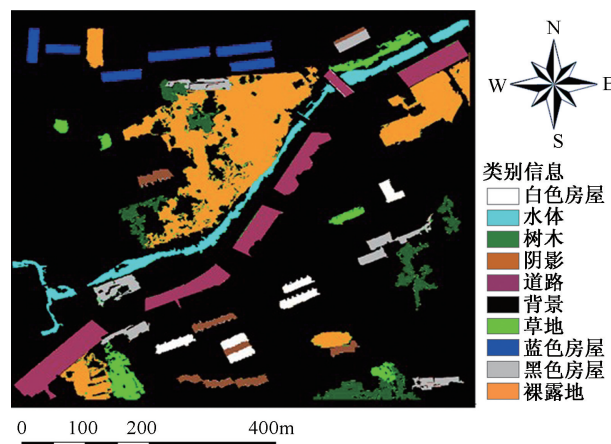


图5 参考分类图

Fig.5 Reference objects for evaluation

本文采用Meanshift算法^[13]进行影像分割,并定量评价分割结果。由于Meanshift算法需要确定3个输入参数:分别是空间宽度(Spatial Width)、光谱宽度(Spectral Width),以及最小分割尺度(Min Segment Size)^[14],选择不同参数将显著地影响高分辨率影像分割结果^[15]。本文分析Meanshift在以下8种参数组合下的分割效果:(a)空宽=5,谱宽=5,尺度=

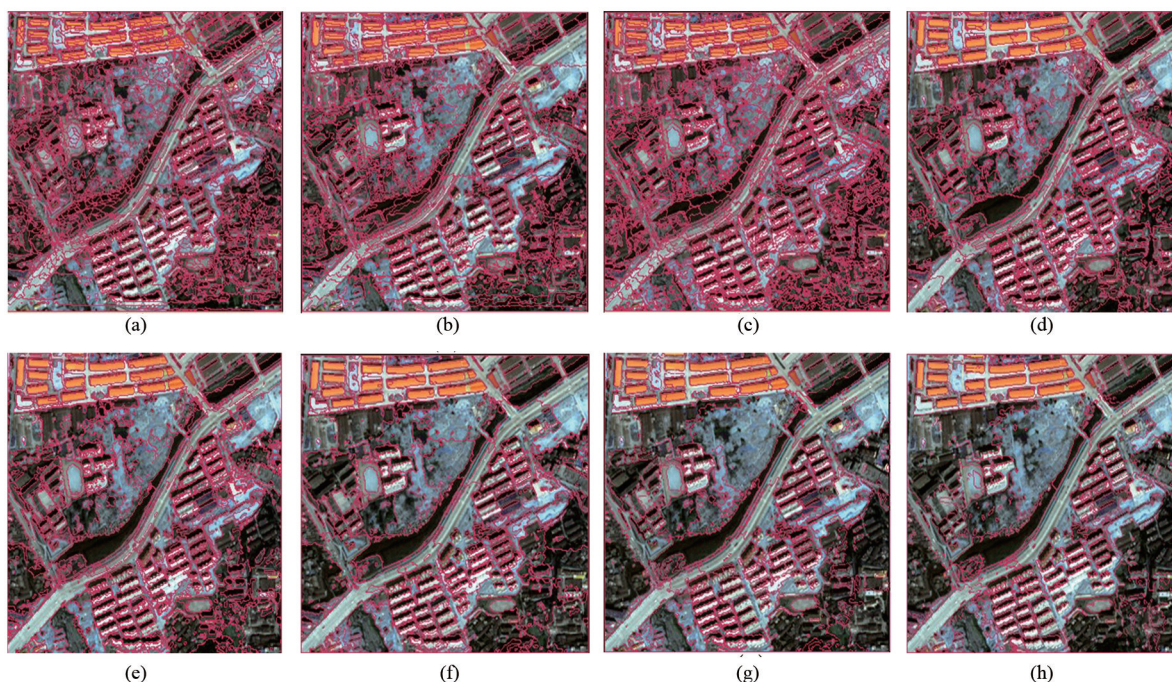


图6 Meanshift在不同参数下对遥感影像的分割结果

Fig.6 Segmentation of remotely sensed image with Meanshift using various parameters

5; (b) 空宽=10, 谱宽=5, 尺度=10; (c) 空宽=10, 谱宽=10, 尺度=10; (d) 空宽=20, 谱宽=20, 尺度=20; (e) 空宽=30, 谱宽=20, 尺度=30; (f) 空宽=30, 谱宽=30, 尺度=30; (g) 空宽=35, 谱宽=30, 尺度=60; (h) 空宽=50, 谱宽=40, 尺度=40。

图6是遥感影像在不同组合参数下 Meanshift 的分割情况。通过目视判读可以发现,当分割尺度设置过小时,如图6(a)中尺度为5,则地物过分割现象非常严重,同类地物产生了大量的碎块,因而导致分割效果较差。随着分割尺度的增加,过分割现象有所改善;但是当尺度设置在40以上时(如图6(g)所示),又出现了较为严重的欠分割现象,导致多种地物没有被正确分割出来。从图6(c)–(e)可见,当分割尺度固定时,若空宽和谱宽的数值设置超过30时,对分割结果影响较大,会出现明显的过分割现象。实验表明,Meanshift算法的3个参数相互影响,在不同参数配置下,算法的分割结果差异较大。

下面基于像元的 Kappa 系数和总体精度(Overall Accuracy 简称 OA)两个指标,以及本文提出的5个几何形状指标,对以上分割情况进行定量分析。图7(i)–(vi)是在不同参数组合下,各种定量指标对分割效果的评价情况。图中纵坐标表示各种评价方式的指标值,横坐标表示8种组合参数下的影像分割。其中,图7(i)是基于像元的 OA 和 Kappa 指

标,图7中的其他子图(ii)–(vi)分别表示过分割、欠分割、边缘匹配度、分割块数与形状变化5种几何形状指标。

从图7(i)的数值分析结果可以看出,尽管某些参数下 Meanshift 的分割效果显然不同,但 OA 和 Kappa 系数却出现类似的评价数值。图6(a)中的分割结果图明显表示严重的过分割现象,这时 OA 和 Kappa 系数分别是 0.2743 和 0.1044,而在图6(h) 明显出现了严重的欠分割现象,然而其 OA 和 Kappa 系数却是比较接近的 0.2154 和 0.1146。这表明 OA 和 Kappa 系数难以反映这种分割效果。另一方面,从图7(ii)中可以看出,分割结果中的过分割数值较大,并随着尺度的增大而减小,在尺度10以下时,过分割的值在0.8左右,而尺度在40以上时,数值在0.1左右,差异很明显。

此外,有些地物随参数变化时的过分割值变化不明显,如道路和阴影的过分割值变化不大,而另有些地物在不同参数下分割结果中相差较大,比如房屋3在图6(a)的过分割数值在0.9136,在图6(h)中是0.1034。

从图7(iii)中可以看出,欠分割在图6(a)中的较小,但有些地物如房屋2、树木和道路等随着分割尺度的增加出现大幅上涨的趋势,而水体、建筑1、建筑3,以及阴影,总体上的欠分割值都较小,基本保持在0.1左右。这是因为建筑1和建筑3属于新

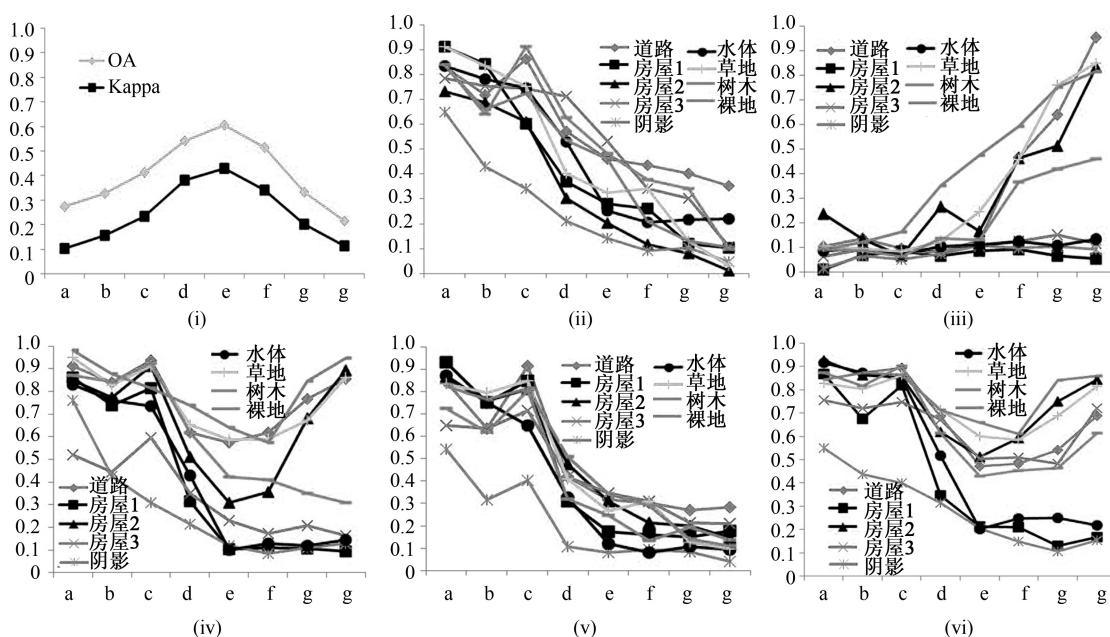


图7 MeanShift在不同参数下分割效果的评价

Fig.7 Evaluation of the MeanShift segmentation with various parameters

的建筑物,而水体类型比较单一,它们都与周围地物区别明显。另一方面,由于影像中的建筑2为老城区建筑,房子年代久远,树木和草地较多,在夏季树木多,阴影面积大,导致与草地及树木等不容易区分,因而整体被分割成一片大的区域,出现较为严重的欠分割情况。

从图7(iv)中可以得出,在图6(a)中,除了建筑3的边缘匹配误差是0.521外,其他地物的边缘匹配误差均较大。显然,在过分割或者欠分割较为严重的情况下,边缘都是难以匹配的,但随着总体精度和Kappa系数的提高,边缘匹配指标会有所改善。从图7(iv)中还可以看出,建筑3、水体、建筑1,以及阴影的边缘匹配效果较好,在图6(e)-(f)中的评价指标保持在0.1左右,但其他地物类型的边缘匹配总体上较差,大部分指标值在0.5以上,在图6(d)时有一个低谷,说明了此时分割结果比其他分割结果较好。

从图7(v)中可以得出,多种地物的分割块数值在0.6-1.0范围内,而阴影的值是0.542,横坐标c处出现一个峰值,随后出现降低的趋势,并且建筑3、水体、建筑1,以及阴影的数值降低到了0.2以下。造成这种降低的趋势是由于欠分割越来越明显,一个地物被分成多个对象的机率减少,甚至出现几个地物对象被分成了一个对象的现象。

从图7(vi)中可以得出,横坐标a上,除了阴影的形状误差较低外,其他的地物都很高,横坐标e上出现一个低谷,而建筑3、水体、建筑1,以及阴影在e以后继续降低,精度在0.2左右。这是由于在后几幅图中,其他地物欠分割现象越来越明显,而这4种地物分割效果却依然较好,保持在一定精度范围内。

以上分析可见,在图6(a)-(c)分割结果中,各类地物的各项评价指标(除了欠分割)都较大,而在图6(e)中的各项指标均较小,这些评价指标越低说明分割效果越好。因此,说明图6(e)是分割效果最好的。从像元评价图7(i)中可以看出坐标e处取最大值,表明图6(e)的分割精度最高。这与本文评价方法的结果一致。此外,从图7(ii)-(vi)的评价指标中发现,房屋3、水体、房屋1以及阴影比其他地物的分割效果好,而其他地物的评价指标值出现一定的变动,这表明在MeanShift分割算法中,这4种地物易识别,且分割效果好。实验表明,尽管这5个指标不同,各指标从不同的角度对同一个分割结果进行评价,但它们之间相互影响,并存在一定的交

叉信息。比如过分割严重时欠分割的数值较小,而其他指标的数值也较大。

5 结论

本文提出了过分割、欠分割、边缘匹配、分割块数,以及形状误差等5个面向对象的分类评价指标,并实现了一个面向对象影像分析的原型系统。通过评价福州市QuickBird影像的分割结果,表明了这些指标的有效性。因此,这些评价指标是传统Kappa和OA的有效补充,能够辅助用户选择满足要求的专题图。实验结果还表明,与传统OA与Kappa相比,几何形状的指标具有以下优势:(1)能够区分地物分割效果的细节信息(如过分割或欠分割等);(2)能够对每一种地物的分割精度进行评价,有利于专题制图时选择合适的分割结果,比如可以选择建筑1分割最好的分割结果图等;(3)能够辅助优选分割算法的参数,如Meanshift的3个输入参数等。目前,这5个指标是从不同的角度对分割/分类效果进行评估,如何利用多目标优化准则把这5个指标综合成一个整体的评价指标将是今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 周成虎,骆剑承.高分辨率遥感卫星影像地学计算[M].北京:科学出版社,2009.
- [2] Myint S, Lam N, Tylor J M. Wavelets for urban spatial feature discrimination: Comparisons with fractal, spatial autocorrelation, and spatial cooccurrence approaches[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2004,70(7): 803-812.
- [3] 宫鹏,黎夏,徐冰.高分辨率遥感影像解译理论与应用方法中的一些研究问题[J].遥感学报,2006,10(1):1-5.
- [4] 闫利,赵展,聂倩,等.利用规则进行高分辨率遥感影像地物提取[J].武汉大学学报·信息科学版,2012,37(6):636-639.
- [5] 杜凤兰,田庆久,夏学齐,等.面向对象的地物分类法分析与评价[J].遥感技术与应用,2004,19(1):20-23.
- [6] Bruzzone L, Carlin L. A multilevel context-based system for classification of very high spatial resolution images[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006,44(9):2587-2600.
- [7] 汪闽,万其明,张大骞,等.光谱、形状特征结合的多精度图像分割算法与应用[J].地球信息科学学报,2010,12(2): 261-268.
- [8] 李秦,高锡章,张涛,等.最优分割尺度下的多层次遥感地物分类实验分析[J].地球信息科学学报,2011,13(3):409-417.

- [9] Foody G M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1992, 58(10): 1459-1460.
- [10] Persello C, Bruzzone L. A novel protocol for accuracy assessment in classification of very high resolution images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 48(3): 1232-1244.
- [11] Huang Q, Dom B. Quantitative methods of evaluating image segmentation[C]. Proc. Conf. on Image Processing (ICIP'95), 1995(3): 53-56.
- [12] 章毓晋. 图像工程(第2版)[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.
- [13] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: A robust application toward feature space analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619.
- [14] 沈占锋, 骆剑承, 胡晓东. 高分辨率遥感影像多尺度均值漂移分割算法研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(3): 313-316.
- [15] 薄树奎, 韩新超, 丁琳. 面向对象影像分类中分割参数的选择[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(5): 514-517.

Quantitatively Evaluating Indexes for Object-based Segmentation of High Spatial Resolution Image

WU Bo*, LIN Shanshan and ZHOU Guijun

(Key Laboratory of Spatial Data Mining and Information Sharing of Ministry of Education, Spatial Information Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Traditional classification accuracy assessments in terms of overall accuracy or Kappa coefficient based on isolating pixels statistic, cannot capture the geometrical properties of the segmented image objects, and therefore do not provide an accurate evaluation in object based segmentation or classification. Considering the importance of bordering pixels and geometric shape in object segmentation, it is thus of our interesting to design some measuring indexes introduced the border pixels and geometric structure information to evaluate the object-based resultant image segmentation or classification. This paper improved five indexes originally proposed by Persello and Bruzzone to evaluate the resultant segmentation of high spatial resolution image. Realizing that the original indices cannot well capture the gap among different categories, resulting in difficulties in discriminating the assessment results of different categories, we use normalized techniques based on geometric shape to overcome it. The indices depend on the geometry features of each object of the thematic map including over segmentation, under segmentation, edge location, fragmentation error and shape error. Moreover, we realized a prototype system contained the aforementioned evaluated indexes based on IDL platform to support the object-based image processing and analysis. To validate these indexes, a subset QuickBird image located on Fuzhou was implemented and the results of the Meanshift segmented algorithm demonstrate that the proposed indexes can provide better accuracy evaluation of each land cover class, and can make users more effectively choose the best classification map. Moreover, our experiments also demonstrate that, compared with OA and Kappa coefficient, the proposed indexes have advantages on characterizing the detailed ground materials and are helpful in aiding the optimal parameters selection for the Meanshift segmented algorithm.

Key words: high-resolution remote sensing image; segmentation/classification evaluation; object-based; geometrical structure

*Corresponding author: WU Bo, E-mail: wavelet 778@sohu.com