

# 基于语义网的遥感图像分类

张亚亚,张立民,刘小伟,徐 涛

(海军航空工程学院 电子信息工程系,山东烟台 264001)

**摘要:**为充分利用遥感图像的先验知识,提高地物信息提取的效率,针对以往低分辨率遥感图像基于像素知识分类出现的问题,提出了一种基于对象的语义网的遥感图像知识分类框架。通过利用语义网络表示地物种类之间的层次关系,研究地物种类的特征属性,通过多种属性集共同描述对象,研究基于模糊隶属度函数的图像对象及其概念的匹配程度,对图像进行精确分类。在 InterIMAGE 系统中的仿真实验结果表明,通过与人工解译的真值图进行对比,该方法在不需要特定提供样本的情况下,有效提高了地物信息提取的效率和准确度。

**关键词:**语义解译;基于知识;隶属度函数;InterIMAGE 系统;区域匹配;遥感图像

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)05-0218-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.05.051

## Remote Sensing Image Classification Based on Semantic-net

ZHANG Ya-ya,ZHANG Li-min,LIU Xiao-wei,XU Tao

(Department of Electronic Information Engineering,Naval Aeronautical and Astronautical University,  
Yantai 264001,China)

**Abstract:**For full use of priori knowledge for remote sensing images to improve the efficiency of land cover information extraction,in view of the problem on low-resolution remote sensing images on pixel knowledge-based classification,present a remote sensing image knowledge classification framework of semantic-net based on the object. Using semantic network to represent the land cover categories hierarchical relationship,research the feature of land cover categories,and by multi-attribute sets to describe the objects,study the matching degree of image objects and concepts based on fuzzy membership function to interpret image. Simulation results on InterIMAGE system show that the method has improved the efficiency and accuracy in the case of without special samples,compared with the manual interpretation of the ground truth image.

**Key words:** semantics interpretation;knowledge based;membership functions;InterIMAGE system;region match;remote sensing images

## 0 引言

随着卫星传感器技术的不断进步,高分辨率遥感影像已经在地质调查、城市规划、国土资源管理等应用领域中扮演着越来越重要的角色<sup>[1]</sup>。高分辨率遥感影像由于具有信息量大、纹理变化复杂、细节增多的特点,使得其信息提取及处理的难度大大增加<sup>[2]</sup>。因此,从海量影像数据中及时、准确地获取感兴趣的目标是需要解决的重大问题之一<sup>[3]</sup>。

近年来,基于对象的方法<sup>[4]</sup>广泛应用于遥感图像的处理中。该方法首先需要将影像分割为一系列彼此相邻的同质区域当作对象,然后进一步将这些对象识别,提取感兴趣地物。它有效避免了传统基于像元易产生“椒盐噪声”的现象,同时考虑图像空间和光谱特

征,改善了图像的分类结果。从模式识别技术的角度来讲,基于对象方法图像解译提取出感兴趣区域过程可以分为三类:基于机器学习的方法、统计方法、结构方法。基于机器学习的方法可以通过自动学习样本模式间的复杂关系,即使没有明显的模型构架也可以进行分类,其主要缺点是对训练样本依赖性高。统计方法是传统的遥感图像处理的方法,此方法面临的问题是适当的模型概率密度的选取,通用性较差,难以取得好的分类效果。结构方法可以用来处理复杂的分类,通常采用层次化的方式组织类别。基于知识的分类方法是一种结构方法,通过对图像的光谱特征、形态学特征以及拓扑结构特征等先验知识进行详细描述,利用这些能精确表达地物的专家知识来建模引导分类过

收稿日期:2014-06-26

修回日期:2014-09-29

网络出版时间:2015-04-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61102167)

作者简介:张亚亚(1990-),女,硕士研究生,研究方向为遥感图像处理;张立民,教授,研究方向为武器系统仿真、模式识别。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150422.1005.012.html>

程,可以显著减少所需训练样本<sup>[5]</sup>。

基于知识的方法是将已分割好的区域指定类别,成为语义对象,研究区域与知识的匹配程度,解决图像上下文信息和语义理解的语义鸿沟。知识的表达可以看成是描述客观世界所作的一组约定,是将其形式化、符号化编码成一种适当的数据结构。目前已有的基于知识的遥感图像分析已经相对成熟,Forestier 等<sup>[6]</sup>提出了一种专家知识表示方法,用于遥感图像解译中的对象识别,并提出了一种计算图像对象与概念之间匹配度的方法,将其用于层级相关的语义识别,并在此基础上进行了扩展<sup>[7]</sup>,应用更多的专家知识对分类结果进行修正,这些专家知识以知识函数的形式呈现。Andres 等的研究<sup>[8]</sup>构造了一种图像本体,然后用图像本体构造了描述专家对卫星图像分类方法的知识本体,并使用自动推理机将这些本体用于遥感图像分类。基于知识的分类有如下优点:

(1)可随意添加新的知识规则在已有的知识库中;

(2)支持交互式图像处理,使得从图像中提取信息的方式更加多样化;

(3)规则的修改和制定比较明朗化,降低了知识验证的难度;

(4)知识的复用性更好,解决类似的问题可以使用已有的相同或相似的结构。

在图像分析中,语义网络<sup>[9]</sup>提供了一种形式化的语义知识表示,其中(某种意义上讲)使用了面向对象程序设计中继承的概念。遥感图像分析工具 GeoAIDA<sup>[10]</sup>和 InterIMAGE<sup>[11]</sup>均使用了基于语义网络的知识表示方式。基于语义网的遥感图像分类方法是模拟专家知识综合利用各种带有因果关系的知识进行推理的过程<sup>[12]</sup>,其中包括知识的获取和知识库的构建,以及演绎推理等一系列问题。地学知识主要来自六大方面:地学辅助数据、专家知识解译、地物波谱知识、空间关系知识、空间分布知识、地物纹理知识。先验知识通常指专家能够解译图像如何自动获取高质量的知识是研究的重点。图像中研究区的类别通常满足:互斥性、完备性、层次性。互斥性是指所有类别间不存在重叠,完备性是指场景中所有类别都需要考虑,层次性是指子类可以按等级合并入更高级别类,如植被又可以分类为树和草地。

为提高地物信息提取过程的效率,便于集成已有研究成果中的相关知识与规则,文中提出了一种基于知识的遥感图像分类框架。首先,介绍 InterIMAGE 系统;接着,研究采用多分辨率分割的方法生成图像对象层以及对象和知识的匹配函数;然后,针对遥感图像地物种类多样化问题,构建语义网层次结构,用于解决图

像同谱异物或同物异谱现象,通过定义基于模糊隶属度函数的定量匹配度,对图像进行分类;最后,将实验分类结果与人工解译的分类结果进行对比,表明该方法在不需获取样本的情况下,对遥感图像的分类精度具有积极的意义。

## 1 InterIMAGE 系统

德国莱布尼茨-汉诺威大学 TNT 学院在先验知识与遥感图像解译过程的集成方面做了很多研究,并设计了基于知识的遥感图像自动分析系统 GeoAIDA。InterIMAGE 软件是巴西空间研究所(INPE)与里约热内卢基督大学在 GeoAIDA 的基础上联合开发而成的基于知识的图形用户界面的遥感数据解译软件,InterIMAGE 继承了 GeoAIDA 软件基本的设计功能、基于知识的结构和控制机制等基本思想。

InterIMAGE 软件与德国的 Definiens Imaging 公司开发的 Ecognition 软件相比较,其优势在于为用户提供了一个开源环境,通过语义网络使用户灵活地构建图像解译模型。InterIMAGE 软件在语义理解及语义网结构描述等问题上,实现了一个特殊的图像理解策略,它主要基于一系列专家所定义的规则、条件或假设解决某一问题。这些自定义的规则就是所谓的知识库。基本的数字图像数据的解译过程均能由图像处理操作得到,这种情况下,图像处理过程的每一步的操作都产生带标记的结果图,就像图像处理操作过程的“分类操作”,通过图像的光谱、纹理或结构特征等规则的构造解译场景。

在大多数使用语义网的地物分类先验知识表示的系统中,一般利用网络的叶节点进行图像处理操作。由于图像提取中的所有对象必需同时考虑,因此图像对象组成具有非常高的组合多样性。能进行全局操作的 InterIMAGE 系统克服了这一问题,进行全局操作的目的是识别特殊类型的对象及相互独立的结构组对象,全局操作能连接所有的语义节点,将一个大的区域划分为小的子区域,从而减少处理不同的解译需求的复杂度,而且子区域若出现知识矛盾,均能通过后期评价整体结果精度发现,并进行更改。

InterIMAGE 系统描述如图 1 所示。

InterIMAGE 系统的解译首先将一幅场景粗略分割为若干区域,随后使用一组属性来描述这些区域,并对其进行标记。标记的过程实际上是一种与最佳目标模型进行匹配的推理过程。在完成区域的识别后,将场景中的目标联系起来,完成对场景的描述。最终,利用构成同一场景中不同目标内在的一致性,对目标的标记进行修正,完成场景识别。

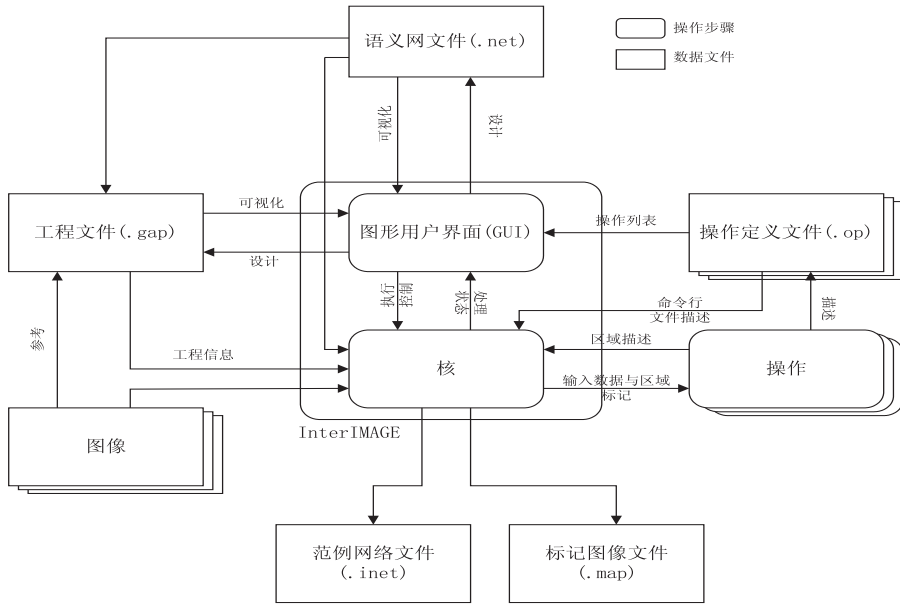


图 1 InterIMAGE 系统描述

用户通过 InterIMAGE 系统<sup>[13]</sup>的图形用户界面定义场景中感兴趣的对象的结构清楚显示在语义网中,语义网络包含节点和边,节点表示概念,边表示概率之间的关系。遥感数据的解译过程可以表示为将输入数据的形式转化为结构和图描述的数据,InterIMAGE 系统的输出结果(每个中间结果或最终结果)包含结构描述和专题层,以区域方式进行表示,存储在 XML 格式文件中。

InterIMAGE 系统中分析过程分为两步:自顶向下(the Top-Down, TD)和自底向上(the Bottom-Up, BU)。自顶向下过程为模型驱动过程,语义网从上至下对图像进行整体操作,假设场景中感兴趣的类别层次结构,用户定义的每个网络节点信息需要根据每个节点步骤结构顺序执行,也就是用于处理图像的处理算子和相应的参数操作都是从根节点到子节点自上而下进行的;同理,自底向上过程中的决策规则则从子节点到根节点自下而上进行处理。

## 2 对象的产生和知识的匹配

### 2.1 对象的产生

由于文中重点研究语义网的分类,对于分割不做特殊要求。文中利用目前研究较成熟的分割算法—基于 FNEA 的多分辨率分割算法<sup>[14]</sup>分割产生对象。多分辨率分割可以理解成一种从单个像素开始的自底向上的区域合并技术。在基于对象的图像分析中,分割产生的图像对象的尺寸称为观测尺度。随着观测尺度的变化,不同地物种类的图像对象特征随之变化,因此也影响了分类精度。多分辨率分割的尺度参数、形状参数、平滑参数及紧致度参数等共同作用影响了分割结果的观测尺度。

多分辨率分割的特点是,当进行分割时,是全局操作的,即场景中所有对象同时生长,从而获得具有相似尺度的邻接对象。多分辨率分割的定量准则包括图像对象的异质性  $h_{diff}$  和生成对象的尺寸  $n$ ,邻接对象中满足异质性最小则进行合并,合并对象超出定义的尺度参数,合并停止。异质性定义如下:

$$h_{diff} = w_{color} \Delta h_{color} + w_{shape} \Delta h_{shape} \quad (1)$$

$$w_{color} = 1 - w_{shape} \quad (2)$$

其中,  $w_{color} \in [0, 1]$ ;  $w_{shape} \in [0, 1]$ , 可根据实际应用的需求对异质性的定义进行调节。

谱异质性的变化的定义如下:

$$\Delta h_{color} = \sum_c w_c (n_m \sigma_{cm} - (n_{o_1} \sigma_{c,o_1} + n_{o_2} \sigma_{c,o_2})) \quad (3)$$

其中,  $w_c$  为图层  $c$  的权重;  $n_m$  表示合并对象 1 和 2 后的像素个数;  $\sigma_{cm}$  表示合并对象 1、2 后的标准差;  $n_{o_1}$ 、 $n_{o_2}$  分别表示对象 1 和 2 的像素个数;  $\sigma_{c,o_1}$ 、 $\sigma_{c,o_2}$  表示图层  $c$  中对象 1 和对象 2 的标准差。

形状异质性描述了一个对象外形的平滑度  $\Delta h_{smooth}$  和紧致度  $\Delta h_{compt}$  的变化。其表达式如下:

$$\Delta h_{shape} = w_{compt} \Delta h_{compt} + w_{smooth} \Delta h_{smooth} \quad (4)$$

$$\Delta h_{smooth} = n_m \cdot \frac{l_m}{b_m} - (n_{o_1} \cdot \frac{l_{o_1}}{b_{o_1}} + n_{o_2} \cdot \frac{l_{o_2}}{b_{o_2}}) \quad (5)$$

$$\Delta h_{compt} = n_m \cdot \frac{l_m}{\sqrt{n_m}} - (n_{o_1} \cdot \frac{l_{o_1}}{\sqrt{n_{o_1}}} + n_{o_2} \cdot \frac{l_{o_2}}{\sqrt{n_{o_2}}}) \quad (6)$$

其中,  $l$  为对象实际边界长度;  $b$  为包围对象矩形的边界长度。

通过调节这些异质性参数使图像分割效果达到具体应用的要求,文中的分割结果统一在实验结果与讨论中给出。利用 InterIMAGE 进行多分辨率分割能分

别对某一节点进行智能处理,因此不同节点可设置不同参数控制分割精度,而 Ecogniton 软件只能全局处理,若需要对指定区域多分辨率分割,需要专家手动挑选出区域再进行多分辨率分割。

### 2.2 知识的匹配

为了更好地利用专家知识定义类别,需要对初始分割区域进行类别匹配计算,研究基于线性组合局部相似准则的匹配分数进行区域匹配。假设  $R$  是图像分割后产生的区域全部集合,区域匹配的目的是根据本体论的光谱信息和基于知识的知识函数使每个区域找到最合适类别。从根节点开始,每个子节点对所有图像对象进行判定。在计算置信度时,  $\text{Valid}(a, C, R)$  表示区域  $R$  和概念  $C$  之间特征  $a$  的置信程度,表达式如下:

$$\text{Valid}(a, C, R) = \begin{cases} 1 & v_R(a) \in [\min(v_c(a)), \max(v_c(a))] \\ \frac{v_R(a)}{\min(v_c(a))} & v_R(a) < \min(v_c(a)) \\ \frac{\max(v_c(a))}{v_R(a)} & v_R(a) > \max(v_c(a)) \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $v_c(a)$  表示特征为  $a$  时概念  $C$  的值域;  $v_R(a)$  表示区域  $R$  特征为  $a$  时的值。

区域  $R$  中,每一类别特征  $\alpha$  与概念  $C$  之间的局部相似度用  $\text{sim}_\alpha(R, C)$  表示如下:

$$\text{sim}_\alpha(R, C) = \frac{\sum_{a \in F_\alpha(C)} \omega(a, C) \text{Valid}(a, C, R)}{\sum_{a \in F_\alpha(C)} \omega(a, C)} \quad (8)$$

其中,  $a$  为分割区域的特征;  $\omega(a, C)$  表示特征  $a$  中概念  $C$  的权值;  $F_\alpha(C)$  表示类别  $\alpha$  的属性集。

匹配分数  $\text{Score}(R, C_i)$  定义为区域  $R$  和概念  $C_i$  局部相似准则,其表达式如下:

$$\text{Score}_\alpha(R, C) = \frac{\sum_{C_j \in \rho(C)} \rho(C_j) \text{sim}_\alpha(R, C_j)}{\sum_{C_j \in \rho(C)} \rho(C_j)} \quad (9)$$

其中,  $\rho(C) = \{C_j \mid C < \dots < {}_0C_2 < {}_0C_1\}$  表示自顶向下的概念所在层次的深度(根据地物类别划分的层次结构确认),其中  ${}_0C_2 < {}_0C_1$  表示  $C_2$  是  $C_1$  的子概念,依此类推。

### 3 基于语义网层次分类

遥感图像地物类别非常丰富,利用层次分类可以解决多类别分类问题。首先,需要构建类别层次<sup>[15]</sup>,然后按照类别层次结构组织相应的知识规则进行分类。类别层次的构建主要依靠专家对图像目视解译找出重点感兴趣的研究区域。因此,类别层次的构建需

要满足:图像中所有分割对象与构建的类别一一对应,不存在对象不属于任何一类或属于多类情况。地物类别层次结构如图2所示。

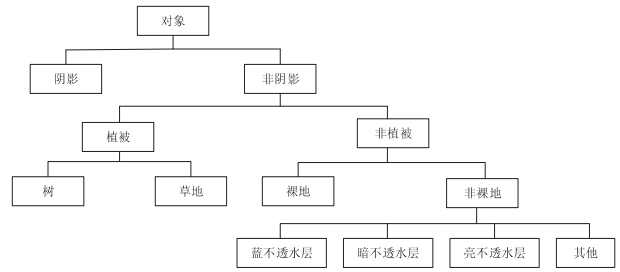


图2 地物类别层次结构

通过已构成的类别层次结构,利用专家地理空间知识解译图像。首先对图像进行视觉特征分析,得出感兴趣地物的分布情况,如表1所示。

表1 地物种类及其分布特性

地物种类	各类地物在图像上的分布特性
树	图中树木种类多样、随机分布,还有光照、树龄等因素影响,图像中某些表现成墨绿色,有些由于光照角度及树木高低问题被黑色覆盖,实验图没有高程数据
草地	在图像表现为亮绿色,纹理较细腻均匀
蓝不透水层	图像中蓝不透水层主要表现在别墅区的屋顶,由于光照影响,呈现浅或深蓝色,形状较规则,分布较集中
裸地	裸地主要表现为土黄色,文中不被植被覆盖的区域统称裸地,包括高尔夫球场的沙地也归为裸地类,某些草地内部纵横交错的道路网也属裸地
亮不透水层	主要分布在别墅区水泥地面,由于光照原因呈现白色
暗不透水层	主要表现为水泥路面及某些暗屋顶上
阴影	由于光照角度问题,在屋顶和树周围会出现阴影,呈现黑色,且一般出现在沿屋顶和树的某一入射光方向上
其他	一些较小、流动性较大的区域,如车、烟囱、游泳池等,不作为感兴趣的对象

通过分析上述地物特点,对图像底层特征进行挖掘,分析其光谱、纹理、形状多方面特征。为了提高地物分类精度,如表2所示,文中给出了多种属性集和特征提取算法,通过这些算法计算对象隶属度函数值域:

(1)亮度(Brightness):

$$\bar{c}(v) = \frac{1}{w} \sum_{k=1}^K w_k \bar{c}_k(v)$$

其中,  $\bar{c}_k(v)$  表示第  $k$  层图像中对象  $v$  的平均亮度;  $w_k$  表示  $k$  层图像对象亮度的权值;  $K$  表示  $k$  层图像像素数。

(2)红蓝波段比率:

$$\text{RatioRB} = \frac{\text{Red} - \text{Blue}}{\text{Red} + \text{Blue}}$$

(3)蓝波段比率:

$$\text{RatioB} = \frac{\text{Blue}}{\text{Red} + \text{Blue} + \text{Green}}$$

(4) 形状指数:

$$\frac{L}{4\sqrt{S}}$$

其中,  $L$  表示对象的边界长度;  $S$  表示对象近似取最大矩形的面积。

形状指数表示图像对象边界的平滑性, 对象的边界越平滑, 形状指数越低。理想形状指数为 1。

$$(5) \text{ 灰度共生矩阵}^{[16]}: \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1 + (i - j)^2}。$$

灰度共生矩阵是通过研究灰度的空间相关特性来表述纹理的常用方法, 文中表示所有方向的全部邻域像素的灰度共生矩阵。

表 2 对象特征属性表

对象	属性	权值范围
植被	RatioB	[0.264, 0.273]
	RatioRB	[0.01, 0.11]
树	Brightness	[66, 95]
	GLCM homogeneity	[0.080, 0.136]
草地	Brightness	[87, 105]
	GLCM homogeneity	[0.198, 0.290]
蓝不透水层	Brightness	[117, 131]
	RatioB	[0.310, 0.330]
暗不透水层	Brightness	[94, 103]
	Shape index	[3.5, 3.7]
亮不透水层	Brightness	[193, 255]
	Brightness	[120, 161]
裸地	RatioRB	[0.11, 0.18]
阴影	Brightness	[0, 70]
其他	Number of pixels	[0, 10]

每个叶节点按照自顶向下的策略, 需要对所有未标记的图像对象进行匹配处理, 为了减少对象与概念进行匹配的搜索空间, 从根节点开始, 每个子节点对所有图像对象进行判定。如果图像对象与该节点表示的概念的定性匹配度为真, 则进一步与其子概念进行匹配。如果匹配失败, 则放弃当前概念及其子概念。

## 4 实验结果与讨论

如图 3(a) 所示, 实验采用的影像资源为南非开普敦郊区遥感图像, 位置为南纬 33°92'01"、东经 18°40'74"附近。图像空间分辨率为 0.5 m, 包含红、绿、蓝三个波段, 图像分辨率为 512×512。

图 3(b) 中为多分辨率分割结果图。结合部分文献和实验表现, 实验分割参数设置如下: 尺度参数为

15 时, 能够较好区分各类; 形状参数为 0.1, 色彩参数为 0.9, 优先考虑色彩相似度, 完全排除了两种不同地物相邻接无法分割的情况; 紧致度为 0.5, 平滑度为 0.5, 图像层值为 1, 1, 1。从图中可以看到, 文中方法分割区域比较准确, 基本分割能较好保持对象的边界。

图 3(c) 为人工解译真值图。在知识匹配过程中参数设置: (1) 根据图 2 类别层次结构的细分程度可知  $\text{maxDepth} = 5$ 。(2)  $\text{minscore}$  的取值范围为  $[0, 1]$ , 其意义为区域与概念匹配分数最小值, 作为判断分配对应类别到对象区域的阈值。不同的  $\text{minscore}$  值得到的地物分类也不同, 随着  $\text{minscore}$  值的增加, 类别匹配程度更加严谨。实验取  $\text{minscore} = 1$ , 区域与概念需严格匹配才能进行类别划分。

图 3(d) 为基于语义网分类结果图, 基本的对象均能通过对应的知识概念匹配分类。

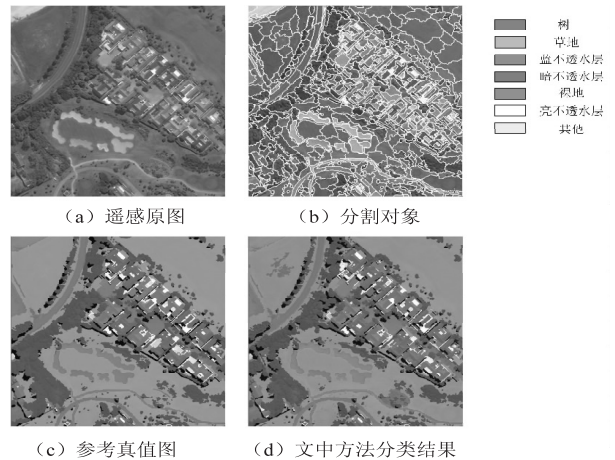


图 3 分类结果图

对遥感图像分类结果进行精度检验对于检验分类方法是否可行具有重要意义。通常用误差矩阵的方式来表示精度评价。如表 3 所示, 评价参数包括总分类精度(OA)、用户精度(UA)、生产者精度(PA)和 Kappa 系数。

通过实验结果发现, 总体分类精度达到 91.3%, 而 Kappa 系数达到 87.9%, 表明基于知识的分类方法效率较高、可扩展性好。从实验中观察看出, 蓝不透水层与暗不透水层主要表现在屋顶分割错误, 其纹理特征和形状特征相似, 仅由于光照影响出现分类错误; 裸地与草地在某种程度上区分并不明显, 地表覆盖较稀疏的地方并没有固定认知, 对于将其分类为裸地或者草地不同专家存在不同理解; 对于“其他”类, 可能与“树”、“蓝、亮不透水层”等存在同谱异物或同物异谱现象。分类精度由每一步分析共同作用, 分割对实验的影响很重要, 好的分割很大程度上决定了分类质量的好坏, 因此下一步工作将研究分割结果对知识分类结果的影响。

表3 文中方法分类结果的混淆矩阵

UAGT	蓝不透水层	草地	树	裸地	阴影	其他	暗不透水层	亮不透水层
蓝不透水层	11 990	0	21	11	0	26	4	0
草地	0	117 002	673	3 289	0	0	10	0
树	109	1 671	58 284	744	789	19	340	0
裸地	0	492	27	27 059	0	0	925	418
阴影	67	2	810	74	10 372	0	262	0
其他	10	0	13	317	0	988	481	477
暗不透水层	9 767	0	41	150	0	99	8 355	91
亮不透水层	4	8	0	332	0	17	0	5 501
PA	0.546	0.981	0.937	0.846	0.929	0.859	0.804	0.848
UA	0.994	0.967	0.940	0.935	0.895	0.431	0.451	0.938
OA	0.913							
Kappa	0.879							

文中的研究目的在于:在样本有限或未知情况下利用专家知识构建模型,增加分类精度,因此,对真值图类别与实际地物匹配准确度不予过分研究,这也是与监督分类方法的不同之处。

## 5 结束语

基于对象的语义网遥感图像分类综合了图像的各种分类特征,仅仅用简单的知识、不需要直接的样本就能改善遥感图像分类精度,并且知识复用性较好,后期还能根据分类情况增加和删减规则。不足之处在于获取专家知识的过程中,会耗费大量的时间和精力,且存在一定的主观性。因此,结合本体论思想增加知识的获取,采用空间数据挖掘和知识发现的方法快速并有效地构建分类规则,实现知识的自动提取,是未来遥感图像分类系统智能化实现的重要研究方向。


## 参考文献:

- [1] 陈杰. 高分辨率遥感影像面向对象分类方法研究[D]. 长沙:中南大学,2010.
- [2] 周晖. 高分辨率遥感图像的层次化分析方法[D]. 长沙:国防科学技术大学,2010.
- [3] 陈忠. 高分辨率遥感图像分类技术研究[D]. 北京:中国科学院遥感应用研究所,2006.
- [4] Blaschke T, Hay G J, Kelly M, et al. Geographic object-based image analysis - towards a new paradigm[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 87(100): 180-191.
- [5] 张文元, 秦昆, 张成才, 等. 基于知识的遥感图像地物提取方法研究[J]. 地理空间信息, 2007, 5(1): 66-69.
- [6] Forestier G, Puissant A, Wemmer C, et al. Knowledge-based region labeling for remote sensing image interpretation[J].

Computers, Environment and Urban Systems, 2012, 36(5): 470-480.

- [7] Forestier G, Wemmer C, Puissant A. Coastal image interpretation using background knowledge and semantics[J]. Computers & Geosciences, 2013, 54: 88-96.
- [8] Andres S, Arvor D, Pierkot C. Towards an ontological approach for classifying remote sensing images[C]//Proc of eighth international conference on signal image technology and internet based systems. [s.l.]: IEEE, 2012.
- [9] 舒宁. 关于遥感影像处理智能系统的若干问题[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2011, 36(5): 527-530.
- [10] Bückner J, Pahl M, Stahlhut O, et al. GEOAIDA: a knowledge based automatic image data analyser for remote sensing data [C]//Proc of congress on computational intelligence methods and applications. [s.l.]: [s.n.], 2001.
- [11] Oliveira D A B, Costa G A O P, Feitosa R Q, et al. InterIMAGE: an open source, knowledge based framework for automatic interpretation of remote sensing data [C]//Proc of GEOBIA. Calgary: [s.n.], 2008.
- [12] 王惠林. 基于知识的遥感图像分类方法研究[D]. 兰州:兰州大学, 2007.
- [13] Camargo F F, Almeida C M, Costa G, et al. An open source object-based framework to extract landform classes[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(1): 541-554.
- [14] Benz U C, Hofmann P, Willhauck G, et al. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004, 58(3): 239-258.
- [15] 陆彦婷, 陆建峰, 杨静宇. 层次分类方法综述[J]. 模式识别与人工智能, 2013, 26(12): 1130-1139.
- [16] Haralick R M, Shanmugan K, Dinstein I. Textural features for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1973, SMC-3(6): 610-621.

# 基于语义网的遥感图像分类

作者: [张亚亚](#), [张立民](#), [刘小伟](#), [徐涛](#), [ZHANG Ya-ya](#), [ZHANG Li-min](#), [LIU Xiao-wei](#),  
[XU Tao](#)  
作者单位: [海军航空工程学院 电子信息工程系, 山东 烟台, 264001](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)   
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2015(5)

引用本文格式: [张亚亚](#). [张立民](#). [刘小伟](#). [徐涛](#). [ZHANG Ya-ya](#). [ZHANG Li-min](#). [LIU Xiao-wei](#). [XU Tao](#) [基于语义网的遥感图像分类](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(5)