

# 面向多分辨率层次结构的遥感影像分析方法<sup>\*</sup>

朱国宾<sup>1</sup>

(1 武汉大学空间信息与数字工程研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

**摘要:** 将输入数据源经过扩展分段处理, 形成具有不同分辨率层次结构的影像目标。通过构建同层次目标之间、不同分辨率层次目标之间的关系, 将目标识别、目标语义提取以及影像信息提取集成在单一的平台完成。

**关键词:** 遥感; 影像分析; 多分辨率层次结构; 分类; 语义提取; 信息提取

中图法分类号: TP751

遥感影像分析处理一直是遥感技术研究的一个重要方面。从早期的影像目视解译技术到后来的计算机辅助分类, 乃至当今的自动化判读技术, 遥感影像分析方法逐步从单纯的像素物理特性识别向影像理解演变。事实上, 遥感影像中蕴含着丰富的空间信息, 而传统的分类方法一般仅能提供位置( $X, Y$ )与属性(类别)输出。无论是监督法还是非监督法, 均是基于像素级的处理, 像素间的天然的内在联系被舍弃了。即使采用纹理等影像特征辅助分类, 其目的也仅是为了提高单个像素级的识别精度与可靠性, 而未顾及到遥感影像中丰富空间信息的提取。

因此, 可以将遥感影像的处理划分为三个层次: 影像像素的物理类别识别(也即通常意义上的图像分类)、地面目标的语义信息提取、遥感影像信息的提取。传统影像分析方法主要解决了第一个层面的问题, 而对于后两个层面的处理只能借助其他的方法完成。因此, 结合对传统遥感影像分类方法的总结以及对新型影像分析方法的要求, 本文提出以下假定。

1) 不同影像目标识别的精度、难易程度可以是不同的。如水域的识别较之城市建筑物的识别要容易得多, 精度也好得多。因此, 一方面不能对所有目标的识别采用相同的衡量标准, 另外, 目标识别的过程也可以存在层次的差异。

2) 影像分析是多分辨率的。从人类对目标识别的模式看, 针对不同目标的识别, 其分辨率存在很大的差异。对城市轮廓的识别可以采用较粗的

分辨率, 识别植被分布的分辨率可以远远低于识别城市居民建筑物所需的分辨率。因此, 影像分析所采用的数据源可以是多分辨率层次的。

3) 影像分析必须是基于语义的。传统分类方法注重目标的物理特性, 而忽视其语义的特性。但是从影像分析的意义看, 其目的是为了提取蕴含在影像中的信息。因此, 这种分析必须建立在合理的语义基础上。目标语义结构与其物理结构是混合型的层次关系。

4) 遥感影像分析的最高层次是影像中蕴含信息的提取。同一目标的多分辨率表达、不同目标之间的关联关系与层次关系均能增加目标信息熵的含量, 有助于提高目标识别的精度与可靠性。更为重要的是, 同一层次内、不同分辨率层次间目标基于语义的空间联系有助于空间信息的提取。

基于以上假定, 遥感影像分析方法应能将其三个层面的目标集中在一个平台完成。具体地讲, 可以根据所提取目标特征的不同构建不同分辨率水平的层次结构, 通过分析基于层内与层间目标之间的关联, 达到目标识别、目标语义提取以及影像信息提取的目的。

## 1 基本思想

### 1.1 传统影像分类方法的缺陷

传统影像分类方法存在很多缺陷, 主要表现在两个方面: ①几乎所有的传统分类方法均基于像素级的处理; ②不同的影像目标处理均在同一

\* 收稿日期: 2003-03-25。

项目来源: 国家留学基金委与以色列高等教育委员会资助项目(Tanoz)。

层次内进行。

无论是监督法还是非监督法分类,传统分类方法的目的是为了实现在待分类目标集与已知目标集的最大匹配,只是在实现手段上,前者是直接的,而后者是间接的。尽管各类方法采用的手段各异,但其核心均是围绕逐个像素遍历实现的。

传统分类方法的改进使得遥感影像的分类在精度、效率上均有所提高,更重要的是提高了分类

器的智能化程度(Atkinson等,1997;Paila等,1995),但是其基于像素级处理的特性则使其存在共同的缺陷。从视觉效果看,分类输出的影像均存在所谓的“胡椒面效果”,即存在大量的分类噪声,这种噪声主要是由于分类时像素间缺乏空间联系造成的(图1(a))。这种噪声效果不符合自然界地物的客观特性,难以形成符合人类思维特点的语义输出。

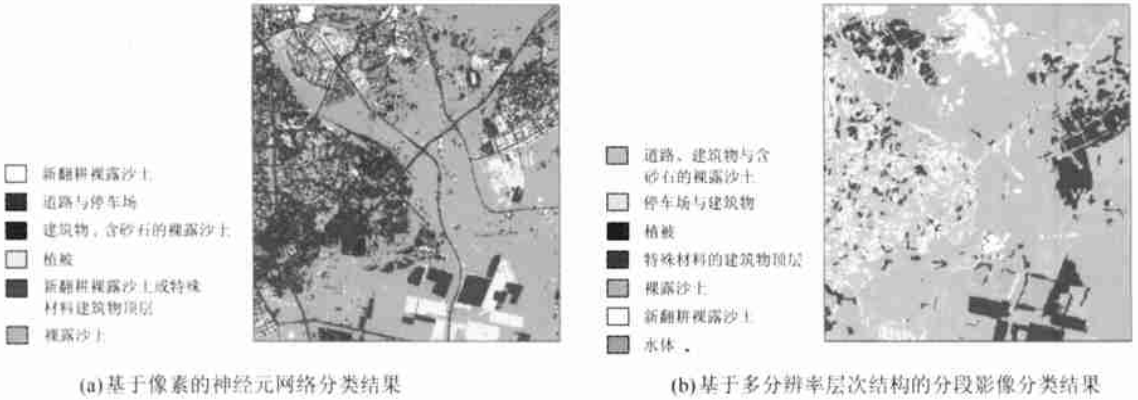


图1 基于像素的遥感影像分类与基于分段的遥感影像分类

Fig. 1 Visual Difference Between Per-pixel Classification and Segmentation-based Classification

传统分类方法的另一个缺陷是不同影像目标的处理均在同一分辨率的层次内进行。事实上,不同的地物目标由于其光谱、空间等特征的不同,从而在遥感影像上形成大小不同、明暗差异的图斑。此时,独立的像素已不再是识别的基本单位,对具有相同语义特征的像素的集合(语义目标)的识别才具有特定的意义。因此,从理论上讲,不同地物目标均有与之相适应的最佳分辨率影像,在此分辨率层次上,影像对该地物类别的概括最适中,因而对该地物识别率具有最好的效果(Chen等,1989;Krawitz,1974)。而传统分类方法由于分类器设计的缺陷,使得其只能在同一分辨率层次上对所有影像目标整体解算。这种方法阻碍了目标语义特性的提取。

### 1.2 多分辨率影像目标的层次性构建

为了克服传统分类方法的缺陷,提高分类的精度与可靠性,更重要的是从遥感影像中提取所蕴含的影像空间信息。可以在单一分辨率的影像资源基础上,根据像素间光谱与空间分布的特征,形成具有不同分辨率的影像目标层次,从而在输入空间形成具有层次结构的影像资源集合。

重建影像分辨率的过程采用扩展的分段方法进行(eCognition,2000;Kok等,2000;Willhauck,2000)。传统分段是指将在光谱与空间特征上相似的单个像素空间聚类的过程。而扩展的分段过

程一方面可以从物理层面上改变影像的分辨率,形成适应不同影像分析目的的影像目标集合,另一方面可以增加影像目标的信息含量(如均值、方差、距离等),并减少由于高频噪声引起的影像噪声。通过控制与调节分段的参数,可以形成具有不同分辨率的影像资源(eCognition,2000)。扩展分段需考虑的参数包括光谱阈值、目标大小、空间平滑程度。

根据影像分析目标的不同,可以通过控制以上参数,形成具有不同分辨率的影像资源,继而形成层次结构的影像资源集合(图2)。该结构使得影像中所包含的信息量通过横向、纵向的关联得以增加,也即增加了其中所包含的信息熵的含量,其结果不仅可以提高地物识别的精度与可靠性,更主要的是可以从中提取大量的语义特性以及空间信息。

对多分辨率目标层次结构的分析可以从横向、纵向两方面入手。

从纵向看,上层(具有较粗的分辨率层次)对下层(具有较细的分辨率层次)的影像目标(分段后形成的影像块)具有包含作用,而下层对上层则有细化作用。由于不同类别的地物在不同分辨率影像层次上的解译效果不同,因此,在不同层次上对目标识别的过程大大丰富了对目标的了解程度。从层次上看,分段越精细,目标块平均面积越小,其所包含的物理信息(如光谱)就越精细,而相

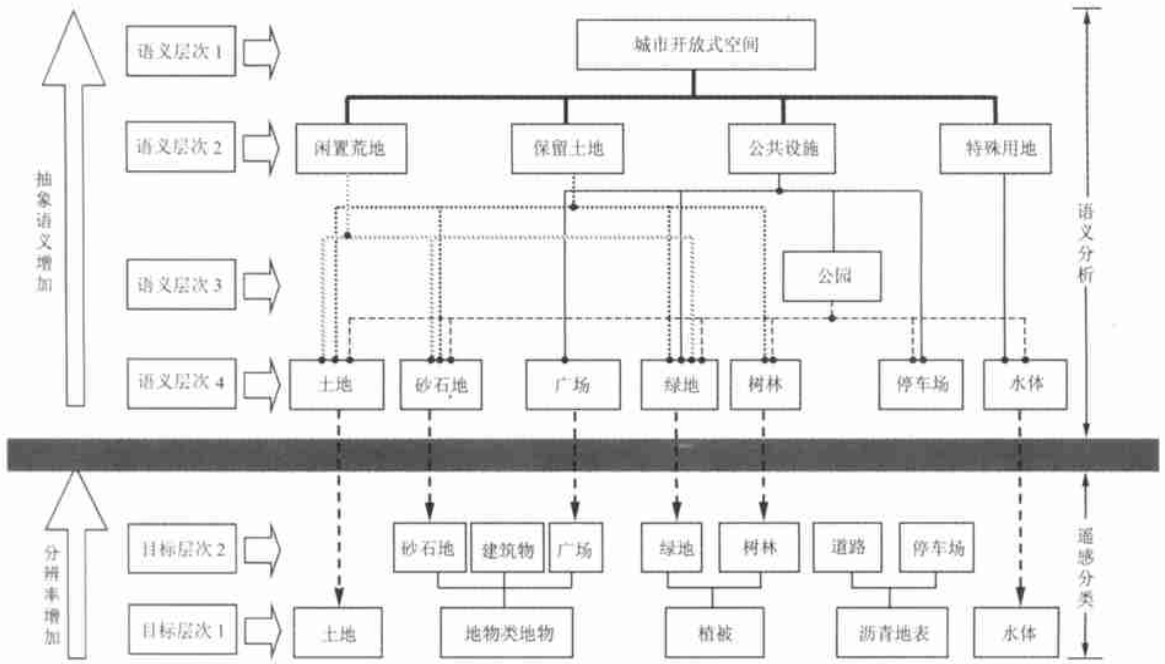


图 2 以城市开放式空间为例的语义层次结构与遥感分类层次结构的联系与差异

Fig. 2 Connection Between Structures in Semantic and Remote Sensing Perspective

Regarding to the Open Space Instance

应的空间信息就减弱, 语义特征越弱化, 抽象信息也随之减少。而从另一个角度看, 层次越高, 分段就越为粗糙, 目标块平均大小增加, 其所包含的物理信息减弱, 但是空间信息增加, 目标的语义强化, 抽象类信息增加。上层对下层的包含有助于利用上层抽象信息强的特点, 屏蔽掉下层由于过多的物理因素造成的空间噪声。直观地看, 可以滤除掉“胡椒面效果”, 实际上是用语义的特性规范目标的分类, 提升分类的可靠性(图 1(b))。下层对上层的细化, 则利用其物理信息丰富的特征补充上层物理特征的缺乏, 提升分类的精度。

从横向分析, 由分段形成的目标以不规则的边界彼此邻接。由于分段参数的不同, 在每个不同的层次上, 目标之间的关联呈现出不同的特征。但总的来说, 可以形成的关联有相邻、包含、距离等。这些关联特征对目标信息的提取起到很好的辅助作用。以阴影为例, 如果阴影与山体相邻(或包含在山体内), 则该阴影属于山体的概率就大大上升; 而如果阴影与建筑物相邻, 则阴影则可能属于建筑物或其附属物。另外, 同一层次上不同目标之间的光谱方差、比率、形状特征等, 也是帮助信息提取的主要指标。

### 1.3 语义特征形成

地物的语义特性往往是与物理特征分离的。以城市开放式空间为例, 从语义上看, 它可以由闲置荒地、保留土地(含草或不含草)、绿地、小片树

林、停车场、行人广场、公园、池塘(水体)等构成, 其中, 公园本身又是一个语义复杂的目标。从语义所包含的成分看, 它们的遥感特征(光谱或空间特征)存在千差万别(图 2)。

如前所述, 多分辨率分段影像的层次结构是辅助目标分解的基础, 也是语义特征的初步框架。层次越向上, 其包含的语义特征越强烈。层次越向下, 越易于分解为与地物遥感物理特征相接近的单元(图 2)。借助面向对象方法学, 通过目标自身的物理特性(包括光谱、形态、大小等)构成不同层次上的网状结构, 继而通过对对象结构的重组, 最终提取出目标的语义层次。这样不但可以全面表达层次间的相互关联, 还可以分解目标的物理特性, 使之与相应的语义特征趋近。

## 2 多分辨率层次结构影像分析方法

多分辨率层次结构影像分析方法旨在充分利用多分辨率影像层次所形成的结构, 发掘其潜在的信息资源, 以达到改善目标识别分类精度与可靠性、提取空间目标语义以及发现目标间空间模式信息的目的。

### 2.1 策略构成

与传统的基于像素的分类方法相比, 多分辨率层次结构影像分析方法可资利用的策略增加了许多。总的来讲, 可以归纳为层间策略与层内策略。

前者利用不同层次之间的信息交互,而后者则主要利用同一层次内不同分段影像目标之间的交互。

### 2.1.1 层内策略

由于目标大小参数的控制,同一层内的分段影像目标规模控制在适当的大小,以满足特定目标的最优识别需要。考察同一层内目标之间的关系,其可用于目标识别的策略包括光谱、形态两方面,而各自又可以细分为多项次生策略(表1)。

表1 同一分辨率层次内目标分析策略

Tab.1 Analysis Criteria at the Level with the Same Resolution

	语义相关	目标相关
光谱	平均亮度	
	标准方差	
	波段比率	
空间形态	面积	
	长度	(与某一语义类的)相对边界长度
	宽度	
	周长	绝对边界长度
	长/宽比值	相对面积比率
	形状指数	绝对面积比率
	密度	距离
	主要方向	包含关系(是/否)
	不对称性	

注:表中“相对”的概念指归一化的指标,而“绝对”的概念指具备量纲的指标。

这些策略的应用,大大扩充了目标特征空间的维数,增加了信息含量,可提高同一层内目标识别的精度。

### 2.1.2 层间策略

层间策略利用整体目标框架体系内不同层次间同类(语义)目标间的关联,一方面强化语义信息的提取(从上往下),另一方面则提升对目标分类的精度(自下向上)。层间策略分类见表2。

## 2.2 层次分类方法

多分辨率层次结构影像分析方法的目的在于对目标的识别以及影像蕴藏信息的提取。由于常规的分类方法(如最大似然法、最临近像元法、神经网络分类法等)无法针对层间目标进行操作(因为分辨率不一致),因此,基于规则或决策树的方式更加适合在多分辨率层次结构影像分析方法中对目标的识别以及信息的提取。

层次分类方法是较早使用的一种与空间特征结合的分类方法(Borak等,1999;Lindenlaub等,1978;Muchoney等,2000)。其所基于的假定是:不同目标区分所基于的特征空间不同、分类策略不同,且区分的难易程度也有差异。在层次分类方法中,针对性地运用分类策略会比整体性地使

用分类策略(如常规分类方法)取得更好的效果。由于层次分类方法与决策树具有相似的结构特征,很容易将决策树应用于层次分类方法中。与常规的层次分类方法不同的是,这里所基于的分类策略来自不同分辨率的分段影像,因而具有更丰富的信息量。

表2 不同分辨率层次之间目标分析策略

Tab.2 Analysis Criteria Between Various Levels with Different Resolutions

	目标相关	语义相关
向下关系	(基于子目标的)	
	长度	
	宽度	
	曲折度	
	曲折度方差	
	光谱均值方差	(在某类别中的)
	面积均值	相对面积
	面积方差	出现次数
	密度均值	绝对面积
	密度方差	目标数目
	不对称均值	
	不对称方差	
	方向均值	
	方向方差	
	向上关系	(落入上层目标内的)
内部边界长度		(在上层内的)
相对面积		出现次数
	相对位置	

## 2.3 影像信息提取

分类的任务是将不同的影像目标纳入到相应的类别中去,而影像信息提取则要求在分类的基础上,形成对分类目标自身的语义重建或提取、目标自身以及目标之间(包含不同语义层次目标之间)隐含信息的提取。

在多分辨率分段影像不同层次的目标识别中,已经隐含了大量的语义信息,且层次越向上,语义信息越丰富。因此,对影像目标的最终重建只需要借助面向对象方法学重新按照语义结构构建目标的继承框架,将不同层次分类所获得的不同分辨率的影像目标纳入到语义框架之中。根据重建的语义框架,可以形成自上而下的语义结构:越靠近上层,语义越抽象;反之,则越详细。

语义重建的过程与目标分解过程相反。如果说目标分解是从目标的物理特征(遥感的角度)出发,逐步向目标的可识别单元逼近的话,那么,语义重建则是从语义特征(逻辑的角度)出发,逐步将语义的物理特征向逻辑特征归纳(图2)。以绿地为例,该物理特征同时与4个语义目标关联,对它的归纳必须采用同层间、不同层次间目标分析

策略进行,以便将其重建到正确的语义目标中去。

影像信息提取的另一个任务是获得隐含于目标自身以及目标之间(包含不同语义层次目标之间)的信息。对于目标自身而言,除了已经通过分类提取的物理属性、语义层次包含外,可以提取的信息还包括面积、周长、形状、纹理等指标。同一分辨率层次内目标之间的信息包括邻近关系和接近性评价(按距离的重力下降模型)。从统计的角度则可以形成目标破碎性分析(根据邻近关系)、缓冲分析(根据接近性分析)等空间分析模型。不同层次间目标之间的信息包括包含、密度、分布等,通过统计手段,则可以生成诸如空间包含、密度分析、空间分布特征等指标。如果进一步扩展到分类目标与语义目标之间的关系,则可以分析子类目标类别在抽象类别中的密度、分布、邻近、缓冲等信息。

### 3 分析与结论

本文着重介绍了基于多分辨率层次结构的遥感影像分析方法。该方法是将多种输入数据源经过分段参数(目标大小、光谱阈值、空间平滑程度)的控制,形成具有不同分辨率层次的新的影像资源。通过构建同层目标之间、不同分辨率层次目标之间的关系,组成基于光谱、空间特征的分析策略,达到目标识别、目标语义提取以及影像信息提取的目的。

图1(b)是基于该方法的遥感影像分类结果。在该分类过程中,首先引入了3个不同分辨率的影像分段层次,其平均分辨率分别30m、60m与150m。其中,最小分辨率分段影像用于分类细节控制,而最大分辨率分段影像用于语义结构控制。在各层中,普遍采用的策略包括平均亮度、平均方差、形状指数(指多边形形状描述参数)以及与语义相关的包含关系。通过中间层的作用,引入的策略控制包括基于子目标的(向上与向下)光谱均值方差、密度方差以及密度均值。通过层次分类方法,实现基于决策树的分类结果。由于采用了不同分辨率组成的层次结构,因而大大增加了目标之间的关联,增加了可资利用的信息熵的含量。与基于像素的神经网络分类结果(图1(a))相比,该方法的典型意义在于:①大大减少了分类噪声;②增加了可识别类型(图1(a)中由于水体与街道的光谱相似性,导致水体无法与街道相区分,而在图1(b)中则准确地得以区分)。

基于多分辨率层次结构的影像分析方法的优

点在于:①将影像处理提高到语义获取及信息提取的高度,而不仅仅满足于目标物理特性的获取;②将基于像素的处理提升为基于目标的处理,充分考虑到像素之间的空间关系,因此更加符合自然界地物分布的规律;③在不同分辨率的层次结构中考察目标之间的关系,可以更加全面地把握遥感影像的实质。此外,特别应该指出的是,该方法将遥感影像分类由基于像素的处理提升为基于目标的处理,极大地改变了遥感影像分析输出的语义特性,因而有利于建立基于语义层次的遥感与GIS一体化结构。

### 参 考 文 献

- 1 Atkinson P M, Tatnall A R L. Neural Networks in Remote Sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18 (4): 699~709
- 2 Borak J, Strahler A H. Feature Selection and Land Cover Classification of a MODIS-like Data Set for a Semiarid Environment. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20(5): 919~938
- 3 Chen S, Zhao Y. *Geo-Science Analysis of Remote Sensing*. Beijing: The Publishing House of Surveying and Mapping, 1989
- 4 Kok R D, Buck A, Schneider T. Analysis of Image Objects from VHR Imagery for Forest GIS Updating in the Bavarian Alps. *Geoinformation for All. The 19th Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*, Amsterdam, 2000
- 5 Krawitz L. Earth Resources Program Scope and Information Needs. NASA-CR \ | 141767, General Electric Co., Philadelphia, 1974
- 6 Lindenlaub J G, Davis S M. Applying the Quantitative Approach. In: Davis S M (eds). *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. New York: McGraw-Hill Inc, 1978
- 7 Muchoney D. Application of the MODIS Global Supervised Classification Model to Vegetation and Land Cover Mapping of Central America. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(6/7): 1115~1138
- 8 Paila J D, Schowengerdt R A. A Review and Analysis of Backpropagation Neural Networks for Classification of Remotely-sensed Multi-spectral Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, 16(16): 3033~3058
- 9 Willhauck G. Comparison of Object Oriented Classification Techniques and Standard Image Analysis for the Use of Change Detection Between SPOT Multispectral Satellite Images and Aerial Photos. *The 19th Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*, Amsterdam, 2000

作者简介: 朱国宾, 副教授, 博士。主要从事遥感、地理信息系统等研究。

E-mail: gbzhu@wtusm.edu.cn

## Remote Sensing Image Analysis Based on Hierarchical Multi-resolution Structures

ZHU Guobin<sup>1</sup>

(1 The Research Center of Spatial Information & Digital Engineering,  
Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

**Abstract:** The analysis of the remotely sensed images evolves in three stages: physical classification, semantic extraction, and information recognition. This paper proposes a new method for integrating the three stages into one common platform. Through this method, semantic extraction and information recognition can be synthetically performed with the classification procedure in the image processing. The mechanism analyzing the relationship in a multi-resolution hierarchy benefits the better understanding to the image objects, in both semantic and physical ways. Consequently, this method can be used for integration of remote sensing and GIS at semantic level.

**Key words:** remote sensing; image analysis; multi-resolution hierarchy; classification; semantic extraction; information recognition

**About the author:** ZHU Guobin, associate professor, Ph. D. He is engaged in the research on remote sensing and Geographic Information Systems.

E-mail: gbzhu@wtusm.edu.cn

(责任编辑: 涓涓)

### 欢迎订阅《地球空间信息科学学报》

《地球空间信息科学学报》(Geo-spatial Information Science)为我国唯一的英文版测绘专业学术期刊,由武汉大学主办。其宗旨是:立足国内,面向国际,通过发表具有创新性和重大研究价值的测绘理论成果,促进国内外学术交流。本刊内容包括综述与展望、学术论文与研究报告、本领域重大科技新闻,涉及测绘研究的主要方面,尤其是数字摄影测量与遥感、全球定位系统、地理信息系统及其集成等。本刊为国际性期刊,按国际惯例运作,作者和读者均面向国内外测量界。主编为李德仁院士。

本刊国内外公开发行人,读者对象为测绘及相关专业高级研究人员。本刊为季刊, A4 开本, 80 面,逢季末月 5 日出版。本刊为自办发行,定价 10 元/册,欢迎订阅。