

空间特征在遥感影像分析中的应用

鲁学军¹⁾ 王钦敏²⁾ 明冬萍¹⁾ 王 晶³⁾ 徐志刚⁴⁾

¹⁾(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101) ²⁾(福州大学, 福州 350002)

³⁾(西北工业大学计算机学院, 西安 710072) ⁴⁾(东北师范大学城环院, 长春 130024)

摘要 本文基于神经系统科学有关“特征”的研究成果,对“空间特征”的定义及其在高空间分辨率遥感影像目标识别与分类中的应用进行了研究。研究表明,空间特征包括空间原始特征、空间功能特征两种类型,其中,空间原始特征是对空间实体组成要素特性的反映,是有关空间实体的识别特征(说明“是什么”),而空间功能特征则是空间实体的功能性分类标志,是有关空间实体的分类特征(说明“干什么”)。文章还具体结合一个基于高空间分辨率遥感影像对机场目标进行识别与分类的实验,对有关结论做进一步的阐释。

关键词 空间特征 地理空间认知 遥感影像分析

中图分类号: TP751 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)06-0737-07

Spatial Feature in the Analysis of Remote Sensing Images

LU Xue-jun¹⁾, WANG Qin-min²⁾, MING Dong-ping¹⁾, WANG Jing³⁾, XU Zhi-gang⁴⁾

¹⁾(LREIS, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

²⁾(Fuzhou University, Fuzhou, 350002)

³⁾(Department of Computer Science & Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

⁴⁾(College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024)

Abstract Based on the research results of “feature” by neuroscience, this paper discusses the definition of “spatial feature” and its applications on targets recognition and classification in remote sensing images of high spatial resolution. The research shows spatial feature consists of two aspects: spatial original feature and spatial functional feature. The former is a reflection of the characteristic of constituent elements of spatial entity, and is for recognition of spatial entity (that means “what it is”); the latter is a functional classification indication of spatial entity (that means “what it does”). The paper also illustrates an experiment about airport recognition and classification ground on a remote sensing image of high spatial resolution.

Keywords spatial feature, geographical spatial cognition, remote sensing image analysis

1 引言

特征能使种类与种类之间发生区别^[1],正是基于个体的观测特征,得以确定某个个体是否属于某个集合。尽管人类先天就拥有聚焦注意力于特征与特征之间关系的熟练和灵活能力^[2,3],但从目前有关遥感影像的处理与分析技术来看,基于空间特征的遥感影像分析能力还显得相当薄弱,而有关基于空间特征的遥感影像分析理论与方法的研究更

不足。

目前,在高空间分辨率遥感影像分析方面,基于特征来进行地物目标的识别与分类是遥感科学研究的一项重要内容^[4,5],该研究将会促进遥感影像处理技术智能化水平的提高;在地理信息系统(GIS)研究方面,有关基于特征的地理信息表达与分析方法已经成为新一代地理信息系统发展的一个重要的方向^[6,7]。但是,对于什么是“特征”、尤其什么是“空间特征”以及它们是如何应用的问题,迄今为止,在遥感与地理信息系统领域尚没有给以足够的重视。

神经系统科学研究认为,“特征”是有关对象识别与分类的基础^[8],是在大脑中存在的“感知符号”。神经系统科学有关感觉-运动神经系统的研究进一步表明,大脑是通过神经元的活动排列来表达感知实体或事件的属性,而有关神经活动状态的记录结果就形成了感知符号,因此,感知符号是对感知实体或事件属性的表达与记录^[9]。感知符号的基本定义应是无意识的神经系统表达,它所表达的信息与一些专门用以表达空间或特殊感觉的词汇相对应,如“亮”、“红”、“直角”、“平行”等^[9,10],这些词汇都是对物质实体基本特性的表达。

神经系统的“无意识表达”决定了感知符号具有“不变性”,即大脑神经元活动对于感知实体或事件属性的表达和记录——特征具有“不变性”,其具体表现在特征感知过程中所具有快速性^[11]和非经意性^[12]。不变特征(fixed features)是有关对象表达与分类的在最低层次上的构造单元(building blocks),心理学上对于这些不变特征的一个代表性假设就是,它们都是不能再分的单元或“原子”^[8]。认知科学和神经系统科学的有关研究进一步表明,在大脑活动中,无意识处理先于有意识状态^[13,14],正是无意识的感知处理奠定了有意识的认知基础,因此,特征是有关对象认知与分类的基本单位。

2 空间特征的认知分析

空间特征是对空间实体感知的符号记录。根据空间特征在空间对象感知过程中所起作用的不同,空间特征一般分为空间原始特征、空间功能特征两种类型。如图1所示,空间原始特征是空间实体感知的基本单位,它具有最大空间分辨率,是空间功能特征产生的基础;空间功能特征是空间实体感知的高

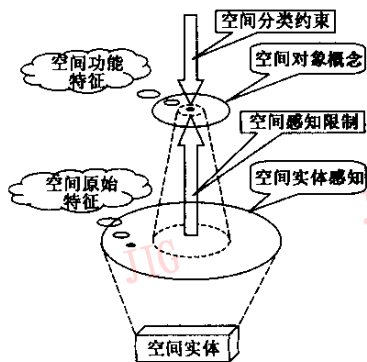


图1 空间对象概念的产生

级单位,它具有相对较小的空间分辨率,是有关空间对象概念形成的核心,它的产生将同时受到“自上而下”的分类约束与“自下而上”的感知限制的影响。心理学研究表明,在孩子和成人的(直觉、朴素)的知识中心,有一个先天、不变的核心,这个核心先于对物质世界的体验而存在,并由一般的限制组成,这些限制控制着孩子们在不同情况下对于对象的感知和推理的方式^[15],这个“不变核心”就是有关对象概念形成的核心——功能特征。

2.1 空间原始特征

空间原始特征是有关空间实体的组成要素及其要素组合的特性表达。而空间实体的组成要素是一种在性质与状态变化上具有一致性,在结构上具有单一性,能够独立存在并与外界直接发生关系的有关空间实体的构造成份,例如,有关地貌单元组成的某种沉积岩、火山岩、变质岩等;有关土地利用单元组成的某种土壤、作物、建筑物等;有关植被单元组成的某种类型植物等,都是组成要素。由于这些要素主要表现了有关空间实体组成的质地、形式、结构等性质,因此,空间原始特征也被称为属性特征。空间原始特征是空间实体感知的基本单位,它一般发生于空间认知的早期阶段——空间感知阶段,它通过高空间分辨率下对于空间实体的详细观测而产生。

心理学实验已经证明,在对物质实体感知的初期,有关对象视觉形状的认识,引导着对象的分类^[16],因此,视觉形状是有关空间实体感知的一个重要原始特征。在有关视觉形状特征的感知划分上,许多研究应用了基于形状基本单元的预定义模式,如Biederman的“geons”^[17]和Marr的“一般柱面”^[18],这种模式就是通过图像中寻找诸如“geons”或者“一般柱面”这样的基本单元来划分对象的形状^[19]。但是,由于现实世界中物质实体复杂形状的千变万化,不可能希望通过拥有关于形状结构组成的基本单元的某种完备预定义模式来实现对于所有复杂形状的划分;即使拥有了某种完备预定义模式,但对于每个形状基本单元在感知结构中的配置也是不能完全由预定义模式限制的^[20]。

事实上,虽然在实体感知的早期阶段,人们首先倾向于利用实体形状的特征识别来指导对象分类,但是,随着特征感知的深入,人们将逐渐应用后来所获得的有关感知特征的学习(或训练)经验来取代这种简单地利用形状来识别对象的早期倾向。有关感知特征的学习(或训练)经验即指一般的“感知限

制”^[8],如邻近关系、拓扑结构、曲率变化和感知突现。例如,与上述的形状基本单元预定义模式不同,Hoffman 和 Richards 提出的“曲率最小原则”,并没有给定形状基本单元的预定义模式,而是通过应用“两点间主曲率下降最小”的计算模式来寻找形状的特殊斑块^[21],每个这样的“特殊斑块”都只能是物体表面的一部分,而所有寻找到的“特殊斑块”则综合反映了物体的表面形状。作为一种学习特征,这种“特殊斑块”反映了感知者在环境中对于形状的体验^[8]。

“感知突现”是有关原始特征产生的另外一种典型形式——“块状感知”的具体表现。块状感知是一种针对实体的各基本组成部分的、具有结构的、整体表达性质的感知过程,它所产生的特征是已有特征(包括非结构性基元特征)的整体表现。块状感知过程深受感知者所获得的有关特征学习(包括训练)经验的影响,它所产生的特征增强了对对象分类之间的差异和相似。由于块状感知所产生的特征更符合视觉感知的要求,对于对象的编码表达更富效率,因此,块状感知所产生的特征能够加快视觉感知的速度^[8]。经验证明,人们正是通过“块状感知”形成了“不变特征”的一个有限、实用、确定的集合^[22],而这个集合正是有关空间功能特征产生的基础。

2.2 空间功能特征

当一个对象的属性成为重要分类的标志时,这些属性就成为这个对象表达的功能特征^[8]。由于功能特征的分类作用,功能特征也被称为分类特征。如前所述,原始特征主要是对有关空间实体某种性质(如形状)的描述,它不能作为有关实体对象分类的功能特征。

如图 1 所示,功能特征的形成要受到“分类约束”和“感知限制”相互作用的影响,其中,“自上而下”的分类约束通过规定原始特征组合的规则集来影响空间功能特征的产生,但是,在感知过程中,仅仅依靠分类约束来预测感知数据是没有定解的^[8],因为,即使分类约束能够列出所有的感知特征,而对于某个特征能否在某种感知结构中出现是不能由分类约束完全限制的^[21],感知特征在感知结构中的产生还要受到“自下而上”感知限制的影响,因此,功能特征的产生是在分类约束与感知限制的相互作用下共同实现的。

基于不变特征的经典分析理论认为,对象表达产生于一个有限特征集和一个特征组合规则集,而

特征的组合将产生有关对象的层次结构表达^[23]。如图 2 所示,空间功能特征集是空间对象概念形成的核心,它是由若干个空间原始特征集基于某种组合规则组合而成;而将若干个空间对象各自的空间功能特征集进一步组合,则将形成一个高级的空间对象类概念的核心——空间功能特征集组合。



图 2 空间对象概念的产生及其层次表达

由图 2 可见,不同的特征集合形成了有关对象概念表达的层次结构,表示“空间实体感知”、“空间对象概念”和“空间对象类概念”的浅灰色圆自下而上依次变大,表明所产生的对象概念的外延逐渐变大;而表示“空间原始特征集”、“空间功能特征集”和“空间功能特征集组合”的深灰色圆自下而上则依次变小,说明特征之间的组合不是简单的相加,相反,经过特征组合所产生的功能特征——对象概念的内涵却逐渐变小。

3 在影像目标识别与分类中应用空间特征

有关遥感影像的分析技术是遥感地学分析中的一个重要研究内容,其在土地覆盖分类、土地利用变化检测等领域都有着十分广泛的应用。随着对地观测技术的不断发展,基于高空间分辨率遥感影像的应用正变得日益广泛。与传统的多光谱中低分辨率遥感影像应用有所不同,基于高空间分辨率遥感影像的应用主要集中在有关地物目标的识别与分类等领域。

对于地物目标的识别与分类,传统的基于地物光谱特征的遥感影像分析技术已经显现出不适用性,而基于空间特征的遥感影像分析技术则适用于

有关高空间分辨率遥感影像的分析。

3.1 基于空间原始特征的影像目标识别

如前所述,视觉形状是有关空间实体感知的一个重要原始特征,而作为原始特征产生的一种典型形式,“块状感知”所产生的特征则能够加快视觉感知的速度。因此,可以基于目标的视觉形状特征分析,并通过建立形状特征的组合规则来模拟“块状感知”,以实现对于遥感影像目标的快速识别。



图3 QUICKBIRD 影像目标
(影像大小 $2\ 551 \times 904$, 空间分辨率 0.7m)

由于高斯马尔科夫随机场分割方法能够提供较为满意的区域分割效果,因此在进行图像分割时,选用了高斯马尔科夫随机场分割方法。于图3应用此方法得到的目标区域分割结果如图4所示。在对目标区域分割结果进行区域边界提取之前,为了确保分割结果中各个区域都能够与有意义的地物实体相

针对图3中的QUICKBIRD影像目标,首先对目标的形状特征及其位置进行分析,然后基于目标的形状特征组合规则来实现对目标的识别。有关遥感影像目标的形状特征及其位置分析的思路如下:先进行图像分割,把目标和背景区分开,以获得目标所在的大致区域;然后对目标区域进行区域边界提取,以获得目标的形状特征;再基于目标形状特征的组合规则来判断目标是什么。

对应,需要先对分割结果进行“零散小区域”去除。目标区域分割结果中的“零散小区域”常常由图像中的噪声引起,一般不与有意义的地物实体相对应。

对去除了“零散小区域”的分割结果进行区域边界提取,结果如图5所示。影像目标的区域边界提取原则如下:有关影像目标组成的每个实体,其区域边



图4 QUICKBIRD 影像目标区域分割结果

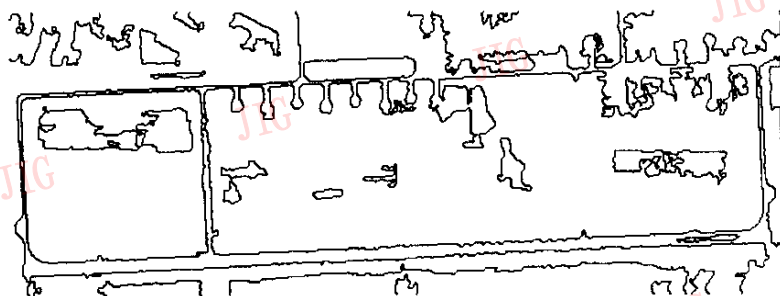


图5 QUICKBIRD 影像目标区域边界提取

界具有连通性,而这个“区域边界连通性”原则正是“块状感知”的一种表现形式。基于图5,就可以进行目标区域边界的形状特征分析。考虑到目标区域的几何特征是判断影像目标是什么的重要信息,对目标区域几何特征的分析方法进行了如下设计:利用Hough变换能够分别对目标区域边界中直线或曲线进行检测的特点,首先检测出边界图中可能对应于直线的像素点,并把非直线上的点去除掉,得到目标的直线形状特征;再从边界图中检测出对应于近似圆的像素点,而把其他非圆上的点去除掉,得到目标的圆形形状特征。应用Hough变换对图5进行检测后,结果如图6、图7所示。

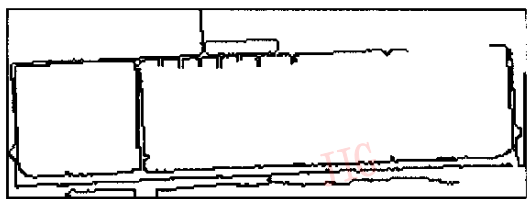


图6 目标的直线形状特征

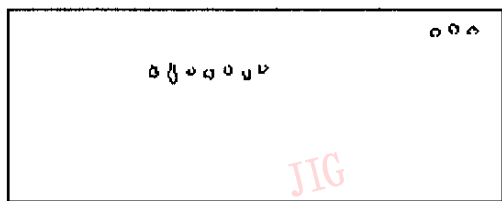


图7 目标的圆形形状特征

图6表示了图3中影像目标的直线形状特征。对图6中的直线形状特征进行分析可知,影像目标由4组平行直线对组成,其中,一组平行直线对特别长,而另外3组平行直线对较短,它们首尾相交组成一个矩形;据图3的影像空间分辨率,可大致算出该矩形面积约为 3.4km^2 。根据上述分析,初步判断图3中的影像目标为一飞机场。为此,进一步对有关飞机场结构及其组成的典型形状特征进行分析,确立了基于高空间分辨率遥感影像识别飞机场的目标形状特征组合规则:

(1) 目标形状特征及其权重分配

- ① 目标具有类似飞机的形状特征(F_{11}), 权重 $W_{11}=0.20$;
- ② 目标具有若干类似跑道的直线形状特征(F_{12}), 权重 $W_{12}=0.25$;
- ③ 目标的若干直线形状特征首尾相连形成一矩形或近似于梯形的连通区域(F_{13}), 该矩

形或梯形区域有一边特别长、且具有很大面积, 权重 $W_{13}=0.40$;

④ 目标具有若干类似停机坪的矩形形状特征(F_{14}), 权重 $W_{14}=0.15$;

(2) 计算目标为一飞机场的判别概率

$$P_{\text{Airport}} = F_{11}W_{11} + F_{12}W_{12} + F_{13}W_{13} + F_{14}W_{14}$$

其中,当条件为真时 F_{1j} 取值为1,为假时 F_{1j} 取值为0。

(3) 判别目标是否为机场

若 $P_{\text{Airport}} > 0.70$, 则目标是一飞机场。

应用以上规则对图3中的影像目标进行判别。通过对图6中直线形状特征的分析可知,图3中的影像目标符合上面目标形状特征组合规则中的②、③、④,因此有下式:

$$P_{\text{Airport}} = 0 \times 0.20 + 1 \times 0.25 + 1 \times 0.40 + 1 \times 0.15 = 0.80$$

由于 $P_{\text{Airport}} > 0.70$, 因此可以得出图3中的影像目标是一飞机场。

3.2 基于空间功能特征的影像目标分类

基于空间原始特征的一种重要形式——视觉形状特征,识别出了图3中的影像目标是一飞机场。空间功能特征是空间对象的重要分类标志。基于有关影像目标的空间功能特征的分析,进一步对影像目标的类别属性进行划分,即说明已识别出的飞机场是民用还是军用机场。

事实上,民用与军用机场在建筑设施上存在着典型的功能性差异,而这些差异正是进一步对机场进行类别划分的功能性特征,例如,乘客候机设施是判断机场是否是民用机场的一个典型的功能性特征,而地下停机库则是判断机场是否是军用机场的一个典型的功能性特征。基于民用与军用机场之间功能性特征差异的比较与分析,进一步基于高空间分辨率遥感影像分别建立有关民用与军用机场类型划分的空间功能特征组合规则。

3.2.1 划分民用机场类型的空间功能特征组合规则

(1) 民用机场功能特征及其权重分配

- ① 目标是飞机场(F_{21}), 权重 $W_{21}=0.5$;
- ② 飞机场存在着乘客候机设施(F_{22}), 权重 $W_{22}=0.25$;
- ③ 飞机场周围大型建筑物较多(F_{24}), 权重 $W_{24}=0.1$;
- ④ 飞机场周围大型建筑物较多(F_{23}), 权重 $W_{23}=0.15$;

(2) 计算飞机场为一民用飞机场的判别概率

$$P_{CivilAviation} = F_{21}W_{21} + F_{22}W_{22} + F_{23}W_{23} + F_{24}W_{24}$$

其中,当条件为真时 F_{2j} 取值为 1,为假时 F_{2j} 取值为 0。

(3)判断飞机场是否为民用飞机场

若 $P_{CivilAviation} > 0.7$,则该机场是民用机场。

3.2.2 划分军用机场类型的空间功能特征组合规则

(1)军用机场功能特征及其权重分配

①目标是机场(F_{21}),权重 $W_{11}=0.5$;

②飞机场存在着地下机库(F_{22}),权重 $W_{22}=0.25$;

③飞机场上空停留飞机的密度小(F_{23}),权重 $W_{23}=0.15$;

④飞机场周围大型建筑物较少(F_{24}),权重 $W_{24}=0.1$

(2)计算飞机场为一军用飞机场的判别概率

$$P_{BattleAviation} = F_{21}W_{21} + F_{22}W_{22} + F_{23}W_{23} + F_{24}W_{24}$$

其中,当条件为真时 F_{2j} 取值为 1,为假时 F_{2j} 取值为 0。

(3)判断目标是否为军用机场

若 $P_{BattleAviation} > 0.7$,则该机场是军用机场。

应用上面有关飞机场类型划分的空间功能特征组合规则对图 3 中的影像目标进行进一步的类别划分。由图 7 可知,图 3 中的影像目标——飞机场存在着许多圆形地物。结合图 6 对图 7 进行分析可知,相邻圆形地物之间的距离大致相等,且相对于整个机场的大小来说这种距离较小;这些圆形地物分布在机场跑道的两边,且距跑道很近。由此判断,这些圆形地物是机场的地下停机库。应用上面有关机场类型的划分规则分别计算图 3 中机场目标是民用与军用机场的判别概率:

$$P_{CivilAviation} = 1 \times 0.5 + 0 \times 0.25 + 0 \times 0.15 + 0 \times 0.10 = 0.50$$

$$P_{BattleAviation} = 1 \times 0.5 + 1 \times 0.25 + 1 \times 0.15 + 0 \times 0.10 = 0.90$$

由于目标机场属于民用机场的判别概率只有 0.50,而属于军用机场的判别概率却有 0.90,远远大于 0.70,因此,可以肯定图 3 中的影像目标——飞机场是一军用机场。

4 结论

作为一种空间原始特征,视觉形状是有关目标对象早期识别的一种重要特征,而“块状感知”是有

关视觉形状特征产生的一种典型形式。空间功能特征是一种分类特征,它是空间对象概念形成的核心;而空间功能特征的进一步组合就产生了有关空间对象类表达的层次结构。

作为有关视觉形状特征产生的一种典型形式,“块状感知”对于遥感影像目标智能化识别方法的研究具有重要借鉴意义;而作为地物的分类特征,基于空间功能特征的对象分类则对于遥感影像目标的智能化分类方法的研究具有重要指导意义。为提高遥感影像处理与分析的智能化水平,应积极开展基于空间特征的“块状感知”与对象分类的理论与方法研究,以推动基于空间特征的高空间分辨率遥感影像智能化分析方法与技术的发展。

参考文献

- Smith B, Mark D M. Ontology and geographic kinds[A]. In: Poiker T K, Chrisman N. (eds.), Proceedings of 8th International Symposium on Spatial Data Handling (SDH'98) [C], Vancouver: International Geographical Union, 1998:308~320.
- Treisman A. Strategies and models of selective attention[J]. Psychological Review. 1969,76: 282~299.
- Treisman A. The perception of features and objects[A]. In: Baddeley A, Weiskrantz L (eds.) Attention: selection, awareness, and control: A tribute to Donald Broadbent [C]. Oxford: Clarendon Press. 1993:5~35.
- Hofmann P, Reinhardt W. The extraction of GIS features from high resolution imagery using advanced methods based on additional contextual information—first experiences [A]. In: International Association for Primate Refuges and Sanctuaries [C], Amsterdam, 2000,33: 51~58.
- Maik N, Gotthard M, Regin L. Classification of settlement structures using morphological and spectral features in fused high resolution satellite images (IRS-1C)[J]. In: Baltasvias E P et al. (Ed.), Fusion of Sensor Data, Knowledge Sources and Algorithms for Extraction and Classification of Topographic Objects [C]. Valladolid, Spain, 1999: 160~166.
- Tang A Y, Adams T M, Usery E L. A spatial data model design for feature-based geographical information systems[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1996,10(5): 643~659.
- Usery E L. A Feature-based geographical information system model[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1996, 62(7): 833~838.
- Schyns P G, Goldstone R L, Thibaut J P. The development of features in object concepts[J]. Behavioral and Brain Sciences, 1998,21(1): 1~54.
- Barsalou L E. Perceptual symbol systems[J]. Behavioral and

Brain Sciences, 1999, **22**(4): 577~660.

- 10 Polyshyn Z W. Mental Imagery: In search of a theory [J]. Behavioral and Brain Sciences, 2002, **25**(2):157~237.
- 11 Landau B, Smith L B, Jones S S. The importance of shape in early lexical learning [J]. Cognitive Development. 1988, **3**: 299~321.
- 12 Braunstein M L, Hoffman D D, Saidpour A. Parts of visual objects: an experimental test of the minima rule[J]. Perception, 1989, **18**:817~826.
- 13 Marcel A J. Conscious and unconscious perception; experiments on visual masking and word recognition [J]. Cognitive Psychology, 1983, **15**:197~237.
- 14 Marcel A J. Conscious and unconscious perception; an approach to the relations between phenomenal experience and perceptual processes[J]. Cognitive Psychology, 1983, **15**:238~300.
- 15 Spelke E S, Breinlinger K, Macomber J, et al. Origins of knowledge[J]. Psychological Review, 1992, **99**(4):605~632.
- 16 Jones S S, Smith L B. The place of perception in children's concepts[J]. Cognitive Development, 1993, **8**: 113~139.
- 17 Biederman I. Recognition-by-components: a theory of human image understanding[J]. Psychological Review, 1987, **94**(2): 115~147.
- 18 Marr D. Vision[A]. A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information [M]. W. H. Freeman, San Francisco, 1982.
- 19 Singha M, Landau B. Parts of visual shape as primitives for categorization[J]. Behavioral and Brain Sciences, 1998, **21**(1): 1~54.
- 20 Thibaut J P, Schyns P G. The development of feature spaces for similarity and categorization[J]. Psychologica Belgica, 1995, **35**: 167~185.
- 21 Hoffman D D, Richards W A. Parts of recognition [J]. Cognition, 1984, **18**: 65~96.
- 22 Anderson J R. The adaptive character of thought [M]. Hillsdale, NJ, USA; Erlbaum Associates, 1990.
- 23 Palmer S. Hierarchical structure in perceptual representation [J]. Cognitive Psychology, 1977, **9**: 441~474.



鲁学军 1964 年生,副研究员,1990 至 1997 年先后于北京大学获地图学与地理信息系统专业硕士和博士学位。主要研究方向为地理空间认知、时/空建模、科学计算及“3S”技术应用与教育研究,发表论文 20 余篇,专著 1 部。

王钦敏 1948 年生,副校长、所长、研究员、博士生导师。长期从事遥感和新全球构造方面的研究工作。

明冬萍 1976 年生,1999 年于武汉测绘科技大学获工学学士学位,2002 年于武汉大学获 GIS 专业工学硕士学位,现为中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室 GIS 专业博士研究生。主要研究方向为遥感图像智能处理、遥感信息提取技术研究等。

王晶 1981 年生,2002 年于西北工业大学获工学学士学位,现为西北工业大学计算机学院计算机应用专业硕士研究生。研究方向为数字语音图像处理和模式识别。

徐志刚 1977 年生,东北师范大学城环学院地图学与地理信息系统专业硕士研究生。研究方向为地理空间可视化建模。