

# 三维结构真实遥感像元场景的生成

苏理宏<sup>1)</sup> 黄裕霞<sup>1)</sup> 李小文<sup>1),3)</sup> 王钦敏<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>(北京师范大学遥感与地理信息系统研究中心, 北京 100875)

<sup>2)</sup>(中国科学院遥感应用研究所遥感信息科学开放实验室, 北京 100101)

<sup>3)</sup>(Center for Remote Sensing, Boston University, MA, 02215, USA)

<sup>4)</sup>(福州大学地球信息科学与技术研究所, 福州 350002)

**摘要** 遥感像元场景模型是遥感机理研究的关键组成,通过调查光与遥感像元场景的相互作用,可以帮助人们理解遥感信号产生的机理,并验证遥感物理模型。从植被野外测量、三维结构真实遥感像元场景的参数化描述、场景数据结构、场景生成方法和流程等方面阐释了遥感像元场景模型。植被的野外测量和统计是结构真实场景的基础;场景生成方法为:(1)使用L系统生成结构真实植株,进而生成遥感像元场景;(2)按统计规则直接生成遥感像元场景。试验表明该遥感像元场景模型可以生成符合遥感像元统计规律的三维场景,是准确和便捷地计算光与植被相互作用的可靠基础。

**关键词** 三维真实结构图形 遥感像元场景模型 L系统 植物测量

中图法分类号: TP751.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)06-0570-06

## Generation of Three Dimensional Real Scene of Remote Sensing Pixel

SU Li-hong<sup>1)</sup>, HUANG Yu-xia<sup>2)</sup>, LI Xiao-wen<sup>1),3)</sup>, WANG Qin-min<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>(Research Center for Remote Sensing and Geographic Information System Beijing Normal University, Beijing 100875)

<sup>2)</sup>(Laboratory of Remote Sensing Information Sciences, Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101)

<sup>3)</sup>(Center for Remote Sensing, Boston University, MA, 02215, USA)

<sup>4)</sup>(Institute of Geo-information Science on Technology, Fuzhou University, Fuzhou 350002)

**Abstract** Scene model is one of key components of remote sensing physical models. Here, a computer scene model (CSM) was introduced. The CSM includes the parameterization of three dimensional landscape scene of a remote sensing pixel, data structure for the scene, methods and procedures for rendering the scene. In the CSM, generation of 3D architecturally realistic scene of a remote sensing pixel is based on vegetation measurement and statistics. Shape, size, base height and orientation of their leaves, and total height of corn and wheat firstly are measured by hand and by digital photogrammetry on field. Then the original data are normalized to obtain the feature parameter set of corn and wheat, which is used to rebuild single plant in computer. A remote sensing pixel usually consists of many plants, and positions of these plants in a pixel falls four interspersing patterns: random, regular, cluster, and transition. The CSM employs two methods to make 3D picture of a remote sensing pixel. The first rendering approach is based on the L system, which is applicable to plant with small number of big leaf, such as corn. The second one depends on statistics, which is applicable to plant with big number of small leaf, such as tree and grass. The 3D remote sensing pixel scene is used not only to show 3D pictures, but also to compute distribution function of energy by reflected or emitted by the remote sensing pixel. In order to do the calculation effectively and expediently, CMS records all polygons, which make up of the 3D scene, in a text file on an array of polygon. The polygon file is the ending of the CSM, and also the beginning of the pixel energy distribution calculation. The CMS produces successfully a 3D scene of a remote sensing pixel, which accords with statistics of the remote sensing pixel.

**Keywords** 3D modeling, Remote sensing pixel scene model, L-System, Vegetation measurement

基金项目: 国家“九五”攀登预选项目(95-预-38); 973项目(G2000077900); 国家自然科学基金项目(49971059);

美国 NASA NAG5-7217, NAG5-31369

收稿日期: 2001-05-18; 改回日期: 2001-11-02

## 0 引言

遥感数据实质上是对在远处与环境交互后的电磁辐射的测量,遥感系统模型指解释产生传感器信号的遥感信息机理模型,由场景模型、大气模型和传感器模型3部分组成<sup>[1]</sup>。传感器模型描述传感器响应入射能量产生遥感信号的行为;大气模型描述大气与入射到场景及场景发射/反射能量的相互作用;场景模型描述遥感像元内能量与物质的形式和本质,以及它们的空间和时间序。遥感像元内三维植株的生成是遥感像元场景模型的关键组成部分,在植被遥感成像机理研究中,通过观察光与遥感像元场景的相互作用,可以帮助人们理解遥感信号产生的机理。遥感野外试验受天气、设备、试验点环境条件、太阳光照角度等诸多因素的影响,使得数据的获取费时费力,有些观测数据甚至是不可能得到的,如在遥感二向性反射研究中,在热点方向上传感器总是挡住太阳,地面试验无法获得热点处的反射数据。使用计算机模拟则可以不受自然条件的影响,得到任意太阳和观测位置的数据,来充分验证遥感物理模型。遥感像元的三维结构决定其二向反射规律,植被组分(如植株、叶片和茎干)间相互空间位置对光与植被的相互作用有重要影响,三维结构真实像元场景的优势在于可以确定任意植被类型之组分的空间位置,使光与植被相互作用的调查建立在可靠的基础上。三维遥感像元场景与计算机图形学真实感图形的重要区别是:遥感像元场景相对视觉的逼真感受,更强调所生成场景内的植被结构参数,符合遥感像元的统计规律,以及其后计算光与植被相互作用时运算的准确和便捷。

三维结构真实遥感像元场景的计算机模拟生成,一般需要一个软件系统和使用这一系统对植物结构的描述;同时还需要对真实植物生物学特征的了解,并进行合理的参数化。L-system是由美国生物学家 Lindenmayer 在 1968 年引入的并行重写系统<sup>[3]</sup>,重写系统的基本思想是,使用一组重写规则(产生式)连续地替换简单初始对象的一部分来定义复杂对象。如果把 L-system 产生的字符解释为控制图形龟的位置和运动的命令序列,那么就能用简单的 L-system 代码产生复杂的图象<sup>[4]</sup>。把 L 系统与图形学结合起来则是 Smith 于 1984 年及 Prusinkiewicz 于 1986 年的工作<sup>[2]</sup>。本文的工作基于

扩展的 L 系统。

## 1 植株生长和形状的 L 系统描述

将 L 系统成功地应用在低级藻类植物及树木的模拟上,得到了栩栩如生的植物形态。L 系统用于植株生长和形状的描述时由生长、结构、形状3个部分组成。如小麦的发育,从麦芽到黄熟,规则需要迭代若干次来实现:麦芽到分蘖,拔节,生出新叶,叶片生长,老叶衰亡,抽穗、灌浆以及黄熟。规则不但要描述这整个发育过程中枝叶穗的拓扑关系,还要有各自形态的变化。

(1)生长 即小麦生长过程中成分变化的描述。使用文本字符,不同字符代表不同的意义,阐述小麦的发育过程,是纯粹植株发育的模拟,是用形式语言来描述小麦的生长发育。这个阶段 L 系统不需要表现植株的真实形状,只须表现植株组分及组分间的拓扑关系,它的逻辑基础是图论中的树。生长给出植株发育过程中单个组成器官之间拓扑关系的发展演变。

(2)结构 是生长过程的一个截面片断,可以使用规则直接说明小麦的形态组分和组分配置,给出绘制的执行顺序。即说明如何把茎叶穗画出来,就是用一些规则来描述茎叶穗的类型、位置、朝向、大小和颜色,即绘画的操作要素。结构给出植株在某一时刻各组成器官之间的拓扑关系。

(3)形状 叶茎穗的形态细节,由龟图绘制构成叶茎穗的基本多边形。有两种实现途径:一是在 L 系统内,即规则给出画龟在空间中的运行路径,如叶规则规定叶片由多个多边形组成;二是在 L 系统外,即预先用多边形曲面构造好植株组分叶茎穗,当龟在解释拓扑字符碰到植株组分符号时,就按照龟当前状态所确定的位置和朝向,将相应的多边形曲面并入植株模型,颜色和大小等其他控制属性也并入多边形曲面。这样,L 系统只控制曲面的外观和空间中的分布,而曲面的形状在 L 系统外定义,这给曲面的修改以更大的灵活性。形状给出植株器官的多边形组成。

如果需要的不是小麦发育的过程,而只是某一时刻的小麦形状,那么工作将只限于结构、形状,即使用 L 系统构造由多边形面元组成的小麦。用一系列面元而不用产生式机制也可以轻松构造植株,但这样便无法利用 L 系统刻画植物生长发育的优势。使用 L 系统定义多边形面片的边界并填充多边形

的方法提供了模拟植物发育,并及时改变曲面的大小和形状的机制。

使用 ELSYS 设计三维自然景物,应首先建立龟在三维空间中的概念,三维空间中多边形是由龟的运动轨迹画出的。绘制自然景物时,应把景物分解成有层次的构件,通过一个主控把它们组装起来,构件以规则的形式出现,如绘制长在地面上的树时,就分成树和地面,树又分解为树干、枝和叶。对需要保存的多边形,须把形成此多边形的操作花括号 {} 括起来,以保证各个构件能正确地接起来,在大多数情况下构件须用方括号 [] 括起来,如叶片,这样从枝上一点调用叶片规则画出叶片后,龟会回到调用时的起点。但对于像树干这样连续增长的结构,每一部分画完后,龟应该正确移到下一部分的起点处,并把龟的朝向调整到初始朝向,这时就不需把龟在每一部分的运动都用 [] 括起来。文献 [5] 和文献 [6] 有使用 L 系统绘制各类图形的充分描述,很多漂亮的植物都是经反复试验得到的。

由于同一种景物其结构大致类同,为减少工作量,景物参数化描述势在必行。这样在标准目标基础上,如阔叶树、针叶树、灌木和小麦玉米等,通过改变参数,如树冠占树高的比例、小麦叶片长宽比以及叶片的倾角等,就可获得各种形状的单目标。满足若干统计规律的植株构成遥感像元场景,如树的空间位置为随机分布,树高为对数正态分布,树叶倾角为喜平型等。用 C 语言编写植被冠层生成程序,它按冠层统计特性产生 ELSYS 源程序,ELSYS 运行该源程序产生冠层。这样通过植株结构参数化和植被冠层生成程序,可以大大扩展 ELSYS 的适用性和处理能力。

## 2 结构真实场景的 L 系统生成

以玉米为例介绍如何使用 L 系统生成三维结构真实场景,首先测量各生长期的玉米,获得形态数据,再用场景生成程序产生场景数据,最后用 ELSYS 绘出三维场景。

### 2.1 形态测量与数据整理

(1)基本实测数据包括:植株高度、茎周长、叶片数、叶基高、叶片尺寸和叶片形状、叶片相对方位角、穗基高和尺寸、雄穗大小和形态。叶片的大小和形状一般分段测量,如将一张叶分成 3 段或 4 段测得一组长度和宽度数据;以玉米根处为原点,分成 3 段或

4 段测量叶片  $x, y$  值,并记录玉米叶片的形状,也可以用数字相机照相测量。显然分段越细,测量越准确,叶片重建会越真实。

(2)测量数据整理:首先将叶片形状归一化,以各叶最大横坐标  $x_{\max}$  为单位 1,计算各叶形状坐标对  $(x, y)$  的归一化值,记为 *leafshape*;其次以各叶的长度为单位 1,归一化叶片的长宽尺寸,记为 *leafsize*。最后以植株高度为单位 1,来归一化茎周长、各叶叶基高和叶片长度,记为 *plant*。这样,就得到一组刻画玉米植株形态的标准数据,显然基于多次测量得到的形态数据代表此类植株的统计规律。

(3)作物株型描述参数:农学领域常用的 27 个株型参数,其中基于计算机图象图形的有 11 个<sup>[7,8]</sup>。

### 2.2 计算机三维场景生成

L 系统用龟图描述三维空间中的物体,与专业图形系统如 OpenGL 对比,龟图通过局部的判断和计算,来获得全局的复杂图形,其运算和操作简单,但是 L 系统的操作步骤烦琐。采用 C 程序读出玉米形态数据 *leafshape*、*leafsize* 和 *plant*,加入随机扰动,计算各叶片的大小、形状和各叶片在玉米植株上的位置,生成 ELSYS 源程序,由 ELSYS 绘出用四边形构成的 3D 玉米植株场景。在计算机三维重建中数据系统由以下 3 个层次构成:

(1)遥感像元配置数据,即一个遥感像元内有多少棵植株,植株在像元内是均匀分布,随机分布,还是其他分布模式等。像元的叶面积指数 LAI 和叶倾角分布 LAD。

(2)植株形态数据,即由测量数据标准化后得到的 *leafshape*、*leafsize* 和 *plant*。形态数据代表一类玉米形状的统计规律。

(3)遥感像元实例数据,按层次 1 生成遥感像元内玉米位置、株高和其他参数值,用这些数据值按层次 2 给出的规格,可以算出像元内玉米植株的结构数据。

完成场景生成后,在实例数据的基础上核准该遥感像元的统计参数。图 1 和图 2(见下页)是两个生长期的玉米冠层。

### 2.3 遥感像元结构真实植株的数据结构

物体在计算机内的表示需要一定的数据结构来实现,系统对物体的各种分析运算和操作也依赖于数据结构支持,良好的数据结构使各种算法更有效率,系统对物体的查询和操作更为方便<sup>[9]</sup>。ELSYS 用单纯的多边形数组来表示遥感像元植株和土壤的

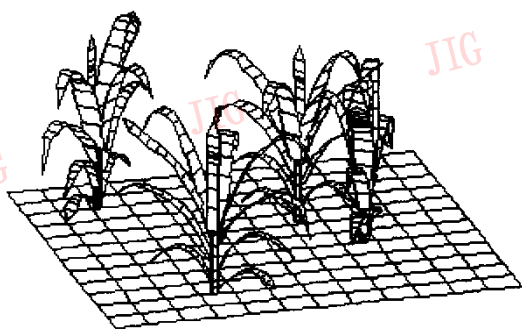


图 1 拔节初期的玉米

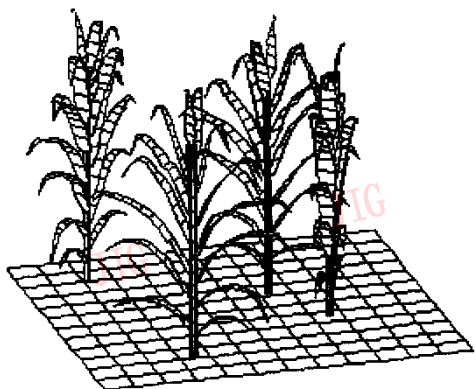


图 2 拔节完成的玉米

真实三维结构,这样的数据结构便于图象显示和像素级操作,但不利于遥感像元内株型信息和植被结构参数的统计计算,更无法在保持株型的条件下,生成符合遥感像元植被结构参数的植株三维结构,因此有必要创建遥感像元场景三维数据结构.该像元场景三维数据结构详细表述遥感像元内植株的分布位置和植株大小形态,它由像元描述文件生成,是遥感像元真实结构的纯数学表示,也是生成遥感像元场景多边形数组的立足点.这里角度的单位为度,坐标和长度宽度的单位都是厘米.数据结构如下:

```

struct pixel{
    坡度
    坡向
    植株总个数
    植株 plant_1 在像元中的位置(x,y)
    .....
    植株 plant_n 在像元中的位置(x,y)
}

```

这里,  $(x, y)$  是以像元左下角为坐标起点.

```

struct plant Rec{

```

- 植株高
- 叶片总数
- 叶片 leaf\_1 —— 叶基高
- 相对方位角,从  $x$  轴正向起算
- 多边形总数
- 多边形 polygon\_1 —— 始边宽
- 终边宽
- 高
- 始边中心  $(x, y)$
- .....
- 多边形 polygon\_n —— 始边宽
- 终边宽
- 高
- 始边中心  $(x, y)$

这里  $(x, y)$  是以根为坐标原点,由茎与叶共同决定的平面上的坐标.

### 2.4 遥感像元结构真实场景生成流程

遥感像元结构真实场景生成的工作流程如下:

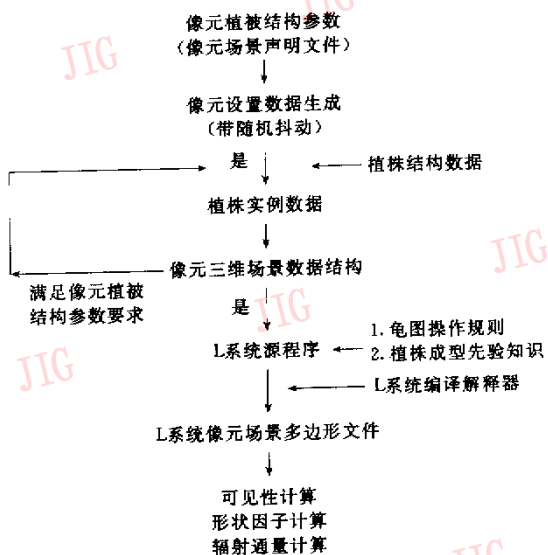


图3 遥感像元结构真实植株生成流程

限于篇幅,本文的工作到遥感像元场景多边形文件这一步,其后的可见性、形状因子和辐射通量计算属光与植被的相互作用,将另文专述.

### 3 拟真实像元场景的生成

目前遥感像元场景或者采用辐射传输和几何光学的数学方法描述,或者采用结构真实模型极为复杂的设定,为了兼顾复杂性与真实性,从遥感机理研

究的角度出发,提出了一种中间路线——拟真实场景.它适用于小麦等草本连续冠层和树木等离散冠层,与玉米不同的是,玉米具有大的叶片和相对独立的植株形态,而草本冠层的叶片更多的是以群体现象出现,树木等虽然单个植株具有确定的几何形状,但树冠中的叶片却是群体的.

在遥感像元尺度上需要考虑的参数有<sup>[10]</sup>:植株种类(草本、乔木、灌木),植株的密度,植株大小(高度、树的胸径、灌木的冠幅),植株形态(叶片大小、形状、叶片位置、叶片方向),植株空间位置,土地坡度、坡向.以此得到描述像元的几个地学参数:覆盖度,叶面积指数(LAI)或叶面积体密度(FAVD),叶面方向的分布(LAD),空间分布格局,像元坡度坡向等.

草本植株只用叶片表示,且叶片有特定的大小和形状,保存完整,叶片在植株大小和形状确定的空间范围内分布,且遵循FAVD和LAD.树的树冠同草本植物,外加主干.这样只是忽略了小茎枝,该处理应是对结构真实模型的一个好的替代,避免了结构真实植被设置的烦琐,而且即便是经历了这样烦琐的设置,产生的场景也只是近似真实的.

### 3.1 地学参数的统计描述

(1) TYPE,植被类型:均匀冠层,如小麦;离散冠层,如树木.

(2) Number,一个像元内的植株个数.对均匀冠层可以是植株的丛数;对离散冠层则是树冠个数.

(3) Shape,植株的形状,如树冠我们认为是球型的.一丛小麦我们认为是立方体的,单个小麦的植株形状不便单独提出来,因为小麦多是群体生长的.

(4) Size,植株的尺寸大小,如树高满足对数正态分布,树冠半径满足正态分布.

(5) Pattern,植株在空间分布模式中主要有4种类型:丛生、过渡、均匀和随机,有相应的统计规律<sup>[11]</sup>.若外部条件不变,由种群自身变化引起的空间格局的变化大多数转化为随机空间格局<sup>[11,12]</sup>.实际上严格服从随机分布的群体是很少的.农作物常常趋于规则分布,而自然群体常趋于丛生.由于植株、叶片都有几何大小,而且是复杂的物种延续(如种子散播、共生等)和竞争(如对水、阳光等)的结果,因而常常在较大尺度上显现丛生倾向,而在较小尺度上表现出规则分布的倾向.不同冠层的叶片在三维空间中有不同分布,可能需要反映叶面积三维空间分布的统计量.

(6) LAI或FAVD,可以给出沿高度的廓线.

(7) LAD,只考虑叶倾角,叶方位角假定是各向同性的.叶倾角依据Goel和Strebel分为6类:喜平型、喜直型、倾斜型、极端型、均匀型和球面型.

### 3.2 场景植被组分生成

拟真实场景按下列步骤生成:

(1) 已知概率密度函数,求分布函数,再生成满足原概率密度的随机量,如LAD和LAI沿高度的分布.

(2) 给定均值和方差,生成满足正态分布和泊松分布的随机量,如植株几何形状参数和植株位置参数.

(3) 确定叶型和大小,叶型有正三角、正方形和长方形3种,大小有大、中和小3种.

(4) 计算叶片个数,确定单叶片面积后,根据LAI和像元尺寸可得总叶片数,进而可得各植株丛或树冠中的叶片数.

(5) 得到叶片的空间位置,对连续冠层,在各丛中可用LAI或FAVD廓线生成.对离散冠层,首先根据树冠形状与包围此树冠最小立方体的体积比,计算立方体可包含的叶片数,并均匀生成叶片空间位置,中心落在树冠内的叶片被认为是有效叶片.

(6) 根据叶角(倾角和方位角)、叶空间位置和叶大小形状计算叶片多边形顶点的三维空间位置.顶点统一按逆时针或顺时针安排.

连续冠层是土壤上方球型分布的长方形叶片.离散冠层是随机分布的树,树高对数正态分布,树冠半径正态分布,树冠中为球型分布正方形叶片.

用上述方法生成连续冠层和离散冠层,如图4和图5所示.

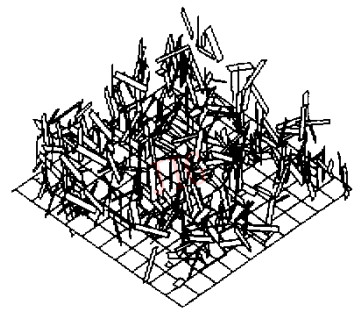


图4 拟真实连续冠层

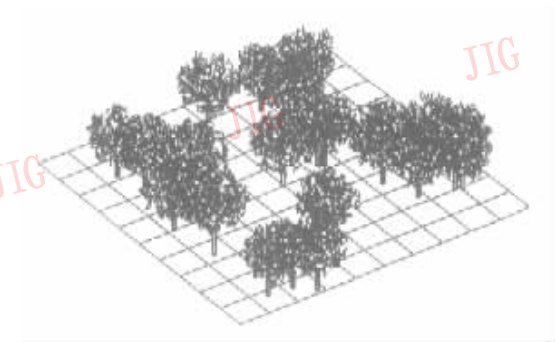


图5 拟真实离散冠层

## 4 结 论

三维结构真实遥感像元场景模型(CSM, computer scene model)所设计的像元场景数据结构,可以有效地管理像元场景数据,并便于植被组分的统计计算;所提出的拟真实结构像元场景概念取得了三维像元场景复杂性和真实性的折中;成功地生成符合遥感像元统计规律的三维场景,为准确和便捷地计算光与植被相互作用奠定了可靠基础。

三维植株的生成,若结合野外实地测量、叶序、植物形态学和概率论,则可生成更多样化更贴近植株自然形态的三维图形。

三维结构真实遥感像元场景模型可用于植被有效光和辐射研究,对面向精准农业的陆地表面三维地理信息系统的数据模型设计也有参考价值。

致谢 作者感谢项月琴教授和覃文汉博士在此工作初期给予的支持和帮助。

## 参 考 文 献

- 1 Alan H Strahler, Curtis E Woodcock. On the nature of models in remote sensing[J], Remote sensing of Environment, 1980, 20:121~139.
- 2 Prusinkiewicz P, Lindenmayer A. Lindenmyer Systems, Fractals, and Plants[M]. New York, Springer-Verlag,1990.
- 3 Harold Abelson, Andrea A. diSessa, Turtle Geometry [M], Boston: The MIT press,1982.

- 4 苏理宏,李小文,王锦地. 扩展的L系统与三维自然景物图形[J]. 计算机应用,2000,20(2):1~4.
- 5 Narendra S Goel, Ivan Rozehnal, Richard L Thompson. A computer graphics based model for scattering from objects of arbitrary shapes in the optical region[J]. Remote Sensing of Environment, 1991,36:73~104.
- 6 Narendra S Goel, Lee B Knox, John M Norman. From artificial life to real life: computer simulation of plant growth[J]. Int. J. General System, 1991,18:291~319.
- 7 山东农学院. 作物栽培学(北方本)[M]. 北京:农业出版社,1980.
- 8 李少昆等. 作物株型信息多媒体图象处理技术的研究[J]. 作物学报,1998,24(3):265~271.
- 9 唐荣锡,汪嘉业,彭群生. 计算机图形学教程[M]. 北京:科学出版社,1990.
- 10 李小文,王锦地. 植被光学遥感模型与植被结构参数化[M]. 北京:科学出版社,1995.
- 11 周国法,徐汝梅. 生物地理统计学[M]. 北京:科学出版社,1998.
- 12 高惠璇. 统计计算[M]. 北京:北京大学出版社,1995.



苏理宏 1965年生,博士,北京师范大学遥感与地理信息系统研究中心博士后,主要研究领域为遥感物理模型、遥感成像机理计算机模拟、空间数据和空间决策模型的集成与管理。



黄裕霞 1970年生,博士,中科院遥感所与中密歇根大学作博士后,主要研究领域为空间信息语义共享、空间数据模型、空间数据和空间决策模型的集成与管理、WebGIS开发。

李小文 1947年生,博士,北京师范大学遥感与地理信息系统研究中心教授和美国波士顿大学遥感中心研究教授,从事遥感基础研究。

王钦敏 福州大学教授、副校长,英国帝国大学博士,日本影像与测绘协会国际顾问,福建省“数字福建”首席科学家,从事遥感与地理信息系统研究。