

文章编号: 1007-4619(2005)04-0413-08

植被定量遥感真实结构模型中面向对象的 三维可视化数据模型

吴门新^{1,2}, 王锦地¹, 谢东辉¹, 朱启疆¹, 项月琴³, 覃文汉³

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院遥感与地理信息系统研究中心, 北京 100875;

2. 中国气象局 国家气象中心, 北京 100081; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 随着植被定量遥感真实结构模型的出现, 植被结构的可视化研究成为植被定量遥感研究的一个重要的方面。在植被可视化研究的过程中, 提出了面向对象的三维可视化数据模型用于植被真实结构的构造。三维可视化数据模型采用面向对象的设计, 对象组合的方式建立几何和逻辑关系, 成功的实现了植被结构的表述。

关键词: 面向对象; 定量遥感; 可视化; 数据模型

中图分类号: TP39 **文献标识码:** A

1 引 言

定量遥感模型已经从几何光学模型、混合介质模型、间隙率模型发展到了三维真实结构遥感模型^[1]。与以往研究遥感辐射问题相比, 此模型的特点在于它更注重地面目标三维结构的研究。三维真实结构遥感模型(DIANA 模型^[2], RGM 模型^[3-6])可以模拟遥感目标三维结构的辐射传输过程, 它要求研究对象在空间几何上尽可能的真实。这个模型的一个重要工作就是建立起表征遥感目标几何信息和光学特性的三维可视化数据模型。在以往的遥感方法研究中, 由于地面结构数据与地理信息系统的二维数据有共同的特点, 都是基于二维空间的数据, 所以地面数据的存储一般采用二维 GIS 模型所定义的二维表的方式存储。在三维真实结构遥感模型的研究过程中, 要求遥感数据模型不但要存储遥感目标的空间信息、拓扑关系, 还要存储与空间信息对应的光学特性数据。传统的以关系数据库为中心的 GIS 数据模型, 很难准确地表达遥感目标在空间和辐射特性的整体性。为解决这种多维数据的存储与管理问题, 在 GIS 数据研究领域 Molenaar、李德仁、龚健雅、陈云浩等先后提出了三维 GIS 矢量模

型^[7-10], Worboys、林晖、龚建华、钟耳顺、宋关福等提出了面向对象的 GIS 数据模型^[11-13]。在研究植被定量遥感真实结构模型的过程中, 考虑到 GIS 数据代表了目标的空间信息, 而遥感数据更多的代表了目标在特定空间位置的属性信息。结合两者各自的优点, 根据面向对象的思想, 本文提出了一种基于遥感目标的面向对象的三维可视化数据模型。

2 遥感目标场景的特征分析

任何遥感目标都是具体的、复杂的、不规则的。然而任何复杂的遥感目标都可以用各种空间体来表示, 空间体可以由空间曲面来构成, 空间曲面可以由空间线来构成, 空间线可以由空间点来构成。因此遥感目标场景的基本构成部分虽然是空间体, 但是它的空间性质可以最终落实到空间点这个最基本的要素上。以遥感目标场景为第 0 级, 空间体为第 1 级, 空间面为第 2 级, 空间线为第 3 级, 以空间点为第 4 级。这些空间的体、面、线、点, 以一定的拓扑关系、逻辑关系共同构成三维真实的遥感目标场景。遥感目标场景的层级分解图为图 1。

从图 1 的层次分析图可以看出遥感信息的一级载体是空间体, 遥感信息的二级载体是空间面, 而更

收稿日期: 2002-11-09; 修订日期: 2005-01-30

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(编号: G2000077900)、国家自然科学基金项目(编号: 40171068、40371078、40371087)国家高技术研究发展计划(编号: 2001AA131030)

作者简介: 吴门新(1976—), 男, 博士, 工程师, 1998年毕业于南京气象学院, 同年进入北京师范大学攻读硕士学位, 2000年提前攻读, 2003年获理学博士学位, 同年进入国家气象中心工作。从事植被遥感建模、植物三维结构重建、作物生长监测、遥感反演等方面研究。

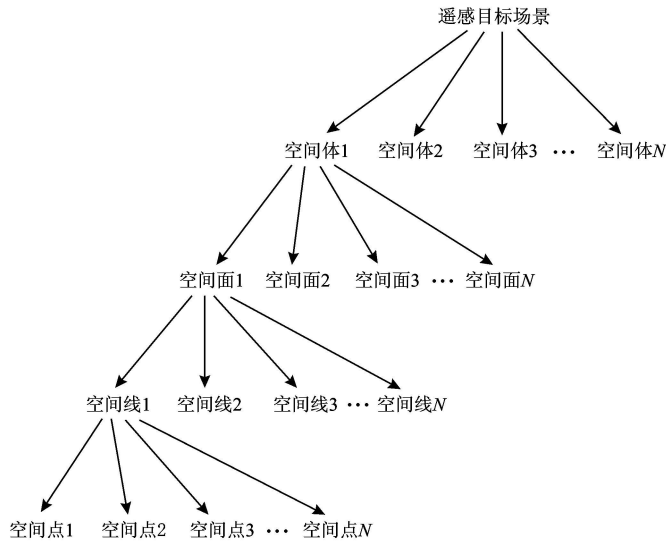


图 1 场景层次分析图

Fig 1 Levels analysis of the scene

低层级的空间线、空间点只有空间信息,与遥感信息没有直接的联系,因而遥感目标场景的光学性质就落实到空间面这个要素上。因此对三维结构数据模型的要求是在第 4 层级(空间点)上表征出空间信息,在第 2 层级(空间面)上表征出遥感信息。本文设计的三维可视化数据模型就是基于这一基本思路,用空间点及其拓扑关系来表征空间信息,用空间面的光学性质来表征遥感信息,用空间面之间的逻辑关系组合出空间体。这种空间上的体一面一线一点总是与一定的空间尺度相对应,在不同的尺度上有着不同的界定。因此根据研究需要的精度,确定遥感测量的方式和选择遥感目标场景的尺度就很必要。本文涉及的测量是地面遥感测量,遥感目标场景是 $0.8\text{m} \times 1.2\text{m}$ 的米级样方。

3 面向对象的数据模型的建立

遥感目标的三维重构过程则是层级分解的逆过程,首先是三维数据点的采集,然后由点成线,由线成面,由面成体。在面和体生成的过程中,加入相应的光学特性参数。为了定义的严格和数据格式的统一,空间基本线采用两点成线,空间基本面采用三角形面元。空间曲线和空间曲面分别由基本线和基本面构成。在数据格式的定义方法上,采用 C++ 提供的抽象数据类型来实现。点模型的定义:

```
class SpacePoint
{
```

```
public:
    double x;
    double y;
    double z;
}
```

线模型的定义:

```
class SpaceLine
{
public:
    SpacePoint[ 2 ];
}
```

面模型的定义

```
class SpaceTriangle
{
public:
    SpacePoint[ 3 ];
    SpaceLine[ 3 ];
public:
    double SpaceTriangleReflectance;
    double SpaceTriangleTransance;
}
```

体模型

```
class SpaceVolume
{
public:
    SpaceTriangle[ N ]
public:
```

```

SpaceVolumeOpticalProperty;
}
场景模型
class Scene
{
public:
    SpaceVolume[ N ];
public:
    SceneOpticalProperty;
}

```

从上面的数据模型可以看出这种数据结构能够反映由点成线,由线成面,由面成体的空间过程,同时在生成面的过程中加入了与空间信息对应的光学特性,数据模型就能够反映场景的空间信息和遥感信息。

4 数据组织、存储与访问

这种面向对象的数据模型的优点在于解决了特定层级对象的空间信息、拓扑关系和光学特性数据的组织与存储问题。然而现存的商业数据库对于面向对象的数据模型并不能给予全面的支持,面向对象的数据模型也是最近几年数据库研究的热点问题^[11-13]。面向对象的数据模型必须支持类和对象、对象标识、对象复合、封装性等基本性质,类和对象是其核心概念。根据面向对象的分析方法,建立数据的组织过程,具体操作流程可分为识别类和对象,确定类的层次结构,创建对象间的相互关系,确定对象间的协议与消息传递机制等几部分。根据遥感目标数据的特征,对这种层级形式的数据可以分层次依级管理数据,建立点集、线集、三角面集、体集。同层级数据之间的关联、异层级对象之间的复合关系以指针来穿引。

数据的存储方式,可采用全文件方式和全数据库方式。全文件方式是存储低层级的数据及其拓扑关系在文件当中,以面向对象的方法设计程序,从文件中读取低层级数据,以数据关联、数据复合来实现高层级数据的存储与访问;全数据库方式,是所有数据都存储在商业数据库中。将空间结构数据和光学特性数据分别放于两个子数据库中,建立两个子数据库的关联关系,将这种关联关系存储在新数据库中,通过索引建立起相应的对象集数据库。这两种数据存储模式,必须存储以下的几种数据项:对象名称、对象标识、对象层级、对象关联、对象复合、对象的属性特征。本文采用的方法是全文件方式。

数据存储完成之后,要根据对象数据模型编制计

算机程序实现高效、准确地访问数据。数据访问程序主要有文件读写、存取路径、关系操作、数据接口等几个主要的模块。功能实现的顺序是从下往上(图 2)。缓冲区管理模块负责与计算机磁盘之间的数据交换,它将磁盘文件里的读入内存的数据缓冲区。然后是记录管理、路径管理模块将缓冲区里的数据以点集的形式生成一个个的三角形面元单元组。单元组接口模块在记录管理模块和存取路径管理的支持下,以一定的序列方式,以利用扫描指针逐一扫描元组。关系操作模块从单元组模块获得点集序列数据后,以一定拓扑关系构建高层级的数据对象(空间面、空间体)。信息交换接口模块从关系操作模块处得到了空间面、空间体的数据之后,就将数据变成了遥感目标场景信息,负责与场景显示、数据计算等过程进行信息交换。实现数据访问的各模块组合关系如图 2。

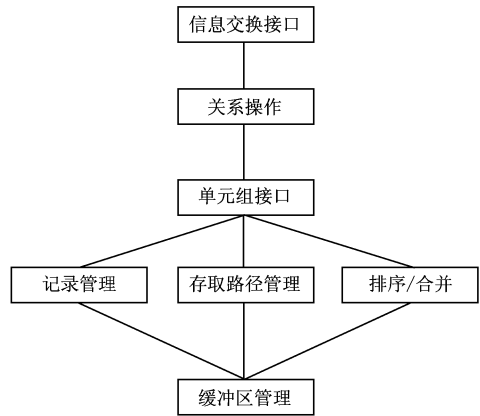


图 2 数据访问的模块结构

Fig.2 Structure of the module of data access

5 数据模型的应用实例

本文以 2001 年在北京顺义地区星机地定量遥感同步实验的小麦场景为遥感目标,以面向对象的数据模型为基础作了一项实例研究。研究工作分 4 个步骤进行:(1)利用层级分析方法将农田场景分解为土壤、小麦两个大的空间体,小麦又被分解为茎、叶等次级空间体,小麦场景的层级分析过程见图 3。(2)根据层级分析得到的结构特点,安排测量实验,测量参数为层级结构中的不可再分解的部分。(3)将实验中获取的结构参数,转换成空间点集。(4)将空间点集以一定的拓扑关系组成不规则三角形的空间面集,利用面集组建不同的次级空间体,组合这些次级空间体,生成小麦地的农田场景。考虑

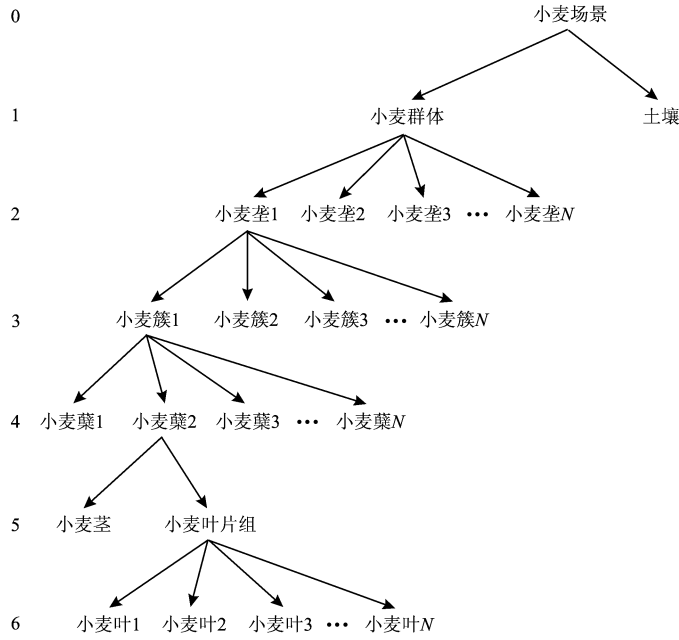
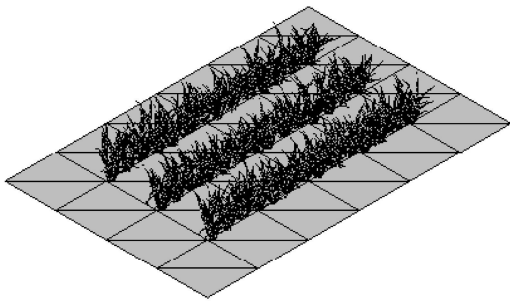


图 3 小麦场景层级分析图

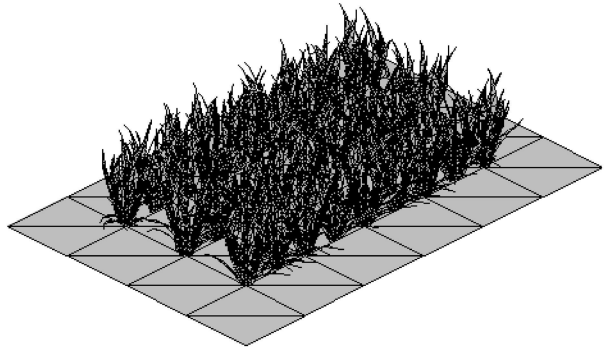
Fig.3 Levels Analysis of the winter wheat scene

到时间尺度上的场景的变化,分别模拟了观测区域小麦出穗前各个生长期的三维结构,场景结构见附

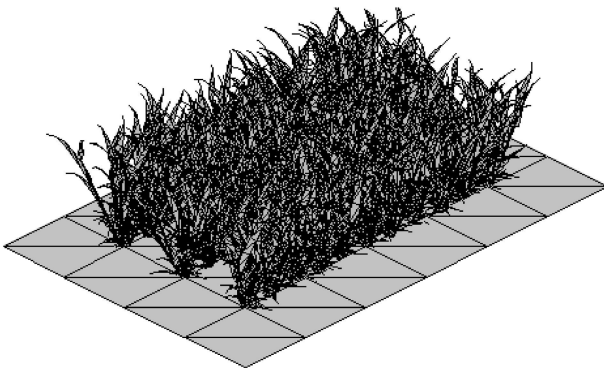
录(图4)。具体工作流程以数据为中心,依次经过数据获取、数据处理、数据可视化过程。



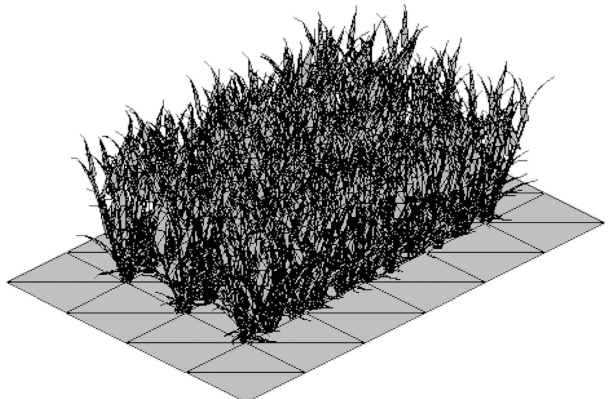
(a) 2001-04-01小麦场景叶面积指数 0.8,平均株高 10.6cm



(b) 2001-04-10小麦场景叶面积指数 1.9,平均株高 20.2cm



(c) 2001-04-20小麦场景叶面积指数 3.3,平均株高 34.3cm



(d) 2001-04-20小麦场景叶面积指数 4.0,平均株高 50.7cm

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图 4 冬小麦场景三维结构模拟图

Fig 4 Simulation of Scene the Winter Wheat

5.1 小麦场景的层级分析 (图 3、图 4)

5.2 数据获取

小麦场景的基础数据主要由野外遥感实验测量得到。测点为北京顺义区赵全营镇。由于小麦群体具有高度的随机性, 从大田中采集出单个的小麦植株进行空间点 (x, y, z) 测量不能代表小麦群体的特点, 而且模拟不出不同小麦植株的差别, 因此对小麦的测量没有采用逐株测量空间点 (x, y, z) 的方法, 本文采用的方法是测量出小麦在不同发育期内各个生理量的统计平均数和方差, 然后根据统计平均数和方差来生成小麦场景内各要素的空间点 (x, y, z) 值。测量的数据为结构参数和光学特性数据。结构参数是表征不同层次上的小麦空间信息数据, 主要包括场景的长度、场景的宽度、行间距、小麦垄的位置、垄内小麦簇数、小麦簇的位置、簇内小麦蘖数、小麦茎长、小麦茎半径、小麦茎倾角、小麦叶片数目、叶序、叶基高、叶长等, 测量仪器为不同量程的测量尺和 KODAK DC240 数码相机。光学特性数据主要包括小麦叶的光谱反射率、小麦叶的光谱透射率、小麦茎的光谱反射率、小麦茎的光谱透射率、土壤垂直向上的光谱反射率。测量仪器为 SE590 便携式野外光谱仪和外积分球组成的分光光度计。

5.3 数据处理与三维坐标点 X, Y, Z 的生成

根据测量数据建立小麦全生长期结构参数和光学特性的原始数据文件。对结构参数原始数据进行整理得到小麦全生长期的结构参数统计数据集包括叶面积指数、平均株高、叶倾角分布、茎长、茎倾角、叶长、叶宽、叶形因子、叶曲因子等的均值和方差。根据建成的结构参数统计数据集, 利用扩展的 L 系统 (ELSYS) 将这些数据离散化, 变成空间中的三维坐标点的三维坐标 (X, Y, Z) , 建立空间点集数据文件, 该方法在《扩展的 L 系统与三维自然景物图形》一文中详细的介绍^[14, 15]。利用点集数据文件和光学特性数据文件, 构建叶片、茎、土壤的空间面元组, 将生成的空间面元组建成面集数据文件, 利用叶、茎面元集组建小麦蘖的空间体, 根据小麦蘖组建出小麦簇、小麦垄这些更高层次的空间体, 最后将小麦和土壤的组建成场景, 利用这些三维空间数据生成场景数据。

5.4 场景的显示

根据三维结构数据模型构建的三维场景数据库

里已经存储了场景内每一个小面元的空间信息和光学信息, 场景的显示仅是读取数据进行三维绘图的过程。三维绘图的方法在 Heam 等著的《计算机图形学》一书中有详细的方法。本研究中的场景坐标系采用笛卡尔右手坐标系, 场景的中心点为坐标原点, 向南为 X 轴正向, 向东为 Y 轴正向, 根据右手法则, 天顶方向为 Z 轴正向。场景的生成采用深度搜索算法^[16], 根据三角形面元中心点离视点的观测距离的远近, 由远及近地绘制各个小面元, 根据视点判断面元的可视程度, 将那些被遮挡的面元隐藏起来, 从而实现场景的三维显示^[16]。

6 三维可视化数据模型与定量遥感模型的接口

植被定量遥感的三维可视化数据模型是为定量描述植被真实结构, 细致描述电磁波在植被内部的传输过程而设计的。目前定量模拟三维结构的辐射传输过程的模型当中比较成熟的是 Qin 等基于 DIANA 模型^[2]发展起来的 RGM 模型^[3-6]。这些模型采用的是辐射度图形学方法 (Radiosity Graphics Method), 以辐射度来度量面元之间能量的传递, 以图形学方法来求解传递过程中的几何因子。它假定小面元的反射和透射均发生在朗伯表面, 计算面元之间的相互辐射过程, 则任意一个面元的辐射通量密度可表示为:

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_{j=1}^N B_j F_{ij} + \tau_i \sum_{k=1}^N B_k T_{ik} \quad (1)$$

其中, B_i 是从第 i 个面辐射出的通量密度; E_i 是第 i 个面自身发射的通量密度; N 是场景内小面片的总个数; ρ_i 是第 i 个面的反射系数; F_{ij} 第 i 个面和第 j 个面之间的观测因子。 τ_i 表示第 i 个面的透过系数; T_{ik} 是第 i 个面的背面和第 k 个面之间的观测因子。上式中的 E_i 是太阳光照射到场景各面元上通量密度的反射值或者透射值, 因此与太阳光的入射通量密度、面元朝向、面元的反射率或者透射率有关, 对一个太阳入射状况、场景状况已经确定的系统任意一个面元 i 的 E_i 是一个已知量, E_i 的计算方法参看文献 [2]。 F_{ij} 是场景面元之间相互关系的表征量, 对场景已经确定的系统而言也是一个已知量。而任意面元的 B_i 是场景内每一个面元的 E_i 经过无数次的能量交换后的平衡值, 是一个未知量。 B_i 的求解, 本文采用的方法是反复迭代法。

考虑每个面其实是由正反两个面组成的, 在本

文的研究中假设正面面元共有 n_p 个, 正面面元 i 对应的反面面元为 $i+n_p$, 面元的总数计为 $N=2n_p$ 个。对每一个面元建立方程, 这样可以得到一个 N 个线性方程组, 写为矩阵形式为:

$$AB = E \tag{2}$$

其中, B 和 E 是 $1 \times N$ 维向量, A 是 $N \times N$ 维矩阵 ($N=2n_p$):

$$B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_N \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_N \end{bmatrix},$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -\xi_1 F_{12} & \cdots & -\xi_1 F_{1N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -\xi_N F_{N1} & -\xi_N F_{N2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

上式中 ξ_i 是 ρ_i 或 τ_i , 取决于能量来向与面元的方向。由于同时满足 $\sum_j F_{ij} \leq 1$ 和 $(\rho_i + \tau_i) \leq 1$, 对于上式中的矩阵, 利用 Gauss-Seidel 方法可以保证收敛有解。因此本文采用的迭代方法是 Gauss-Seidel 法。

为了便于利用 Gauss-Seidel 方法解方程, 可以将方程 (2) 重写成如下形式:

$$B = CB + E \tag{3}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & \xi_1 F_{12} & \cdots & \xi_1 F_{1N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \xi_N F_{N1} & \xi_N F_{N2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

写成方程组形式为

$$B_i = \sum_{k=1}^N C_{ik} B_k + E_i \quad i = 1, 2, \dots, N \tag{4}$$

由于 $B_i \geq E_i$, 可以假定最初 B_i 值就是 E_i 。对于任意一个面元 i $r+1$ 次迭代与 r 次迭代之间关系可以表示为:

$$B_i^{(r+1)} = \sum_{k=1}^{r-1} C_{ik} B_k^{(r+1)} + \sum_{k=r+1}^N C_{ik} B_k^{(r)} + E_i \tag{5}$$

当 $|B_i^{(r+1)} - B_i^{(r)}| < 10^{-6}$ 时认为已经收敛, 停止迭代。

上述方法可以准确算出每个面辐射出的通量密度。场景对外表现的辐射性质通常可以用二向性反射分布因子 (BRF) 和反照率 (Albedo) 来表征。二向性反射分布因子 (BRF) 表征场景发出的能量在 2π 空间的分布状况。反照率 (Albedo) 表征场景对入射能量的反射能力。其中 BRF 可以表示成

$$BRF(v) = \frac{\sum_k (B_k / \pi) |n_k \cdot s_v| a(K, v) \text{area}(K)}{\sum_k (B_k / \pi) |n_k \cdot s_v| a(K, v) \text{area}(K)} \tag{6}$$

其中 B_k 是观测方向上可视面元的归一化辐射通量密度, n_k 是观测方向上可视面元的法矢量, s_v 是观测方向的法矢量, $a(K, v)$ 是观测方向能够看到面元的比率, $\text{area}(K)$ 是面元的面积。

反照率 (Albedo) 可以用 BRF 计算得到。为计算方便将场景的上半球空间离散化, 按等立体角分成 $N_s/2$ 个完全相等的面元, 于是场景的反照率可表示为

$$\text{Albedo} = (1/\pi) \sum_v \text{BRF}(v) (4\pi/N_s) \cdot \cos\theta_v \tag{7}$$

其中, θ_v 是观测方向的天顶角。

这种方法虽然比较繁琐, 但是相对于光线追踪方法^[16], 搜索速度大大增加了, 相对基于参数化 LAI LAD 的几何光学模型和辐射传输模型, 又更能细致地刻画植被真实的结构, 更好地理解由于植被结构的复杂性而导致的多次散射过程。

7 结 论

本文提出的数据模型在遥感研究、科学计算可视化与虚拟现实等方面有着广泛的应用意义。它在遥感研究上的意义表现为: (1) 该数据模型是一种面向定量遥感的数据模型, 它清楚地表达了遥感目标在不同层级上的性质, 可以管理遥感目标的空间信息和光学特性, 比传统的二维关系数据模型更能反映遥感数据的空间分布特征; (2) 该数据模型是针对特定的遥感尺度而定制的数据模型, 遥感研究人员可以根据自己的研究尺度来界定该尺度下的点一线一面一体的构成关系, 分析该尺度下的辐射传输过程, 从而为解决遥感尺度问题提供了一种研究方法。 (3) 该数据模型提供了大量细致的植被结构, 为研究植被结构提供了大量的基础参数, 这些基础参数可以作为几何光学模型、辐射传输模型的输入量使用, 对进一步开展遥感基础理论的研究是有意义的。这种数据模型在科学计算可视化与虚拟现实方面表现在: (1) 该数据模型是一种可视化的数据模型, 它可以一种直观的形式表现出植物 (尤其是农作物) 的植株形态、群体结构、空间分布特点, 比单纯以数值来表征植物形态更直观, 更便于理解。 (2) 该数据模型采用了定量遥感模型 (RGM 模型) 来计算场景的光学性质, 较目前在图形可视化领域使用的通用光照模型 (如 OpenGL 内置的点光源模型) 在理论上有着更强的物理依据, 更符合实际真实情况。 (3) 该数据模型属于对象数据模型, 与现今

GIS领域正在发展的GIS对象数据模型(如ArcGIS9的GeoDataBase数据模型)在基本原理上是一样的,该模型可以和GIS对象数据模型实现对接。因此对于探索在较大尺度上的将GIS信息与遥感数据相结合有一定的意义,这将对虚拟地理景观环境创造更接近真实的虚拟现实有应用价值。

本文在遥感数据模型的研究方面只是一个初步的探索,还有许多问题没有解决。主要表现在:(1)本文的研究仅涉及到比较单一的植被结构(如小麦等农作物场景),大量复杂的、混合的植被结构(如森林、草灌混合场景)的模拟方法有待进一步研究。(2)本文研究的尺度较小,对较大尺度下的点一线一面一体的定义方法和辐射计算方法没有涉及。(3)本文使用的数据获取方法,仅对小麦比较适合。对其他植物要根据其生理特点,选择更为合适的数据获取方法。(4)本文采用的全文件存储方式对小尺度场景是比较适合的,在数据访问上也比较便利,是否于适用于比较大的、复杂的场景有待于进一步的研究。所有这些问题都需要大量更细致、更深入的研究工作。

参考文献 (References)

- [1] Li X W, Wang J D. Models of Vegetation Optics Remote Sensing and Parameterization of Vegetation Structure [M]. Beijing: Science Press, 1995. [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.]
- [2] Goel N S. A Computer Graphics Based Model for Scattering from Objects of Arbitrary Shapes in the Optical Region [J]. Remote Sens Environ, 1991, 36: 73-104.
- [3] Qin W, Gerstl S A W. 3-D Scene Modeling of Semi-desert Vegetation Cover and its Radiation Regime [J]. Remote Sens Environ, 2000, 74: 145-162.
- [4] Qin W, Goel N S, Wang B. The Hotspot Effect in Heterogeneous Vegetation Canopies and Performances of Various Hotspot Models [J]. Remote Sensing Reviews, 1996, 14: 283-332.
- [5] Qin W, Goel N S. An Evaluation of Hotspot Models For Vegetation Canopies [J]. Remote Sensing Reviews, 1995, 13: 121-159.
- [6] Qin W, Goel N S, Wang B. Estimation of Leaf from Hotspot Observations [A]. 16th Int Geosci Remote Sens Symp [C]. Lincoln, NE, 1645-1647.
- [7] Molenaar M A. Topology for 3D Vector Data Maps [J]. ITC Journal, 1993, (1): 25-33.
- [8] Li D R, Li Q Q. Study on a Hybrid Data Structure in 3D-GIS [J]. Journal of Cartography, 1997, 26(2): 128-133. [李德仁, 李清泉. 一种三维GIS混和数据结构研究 [J]. 测绘学报, 1997, 26(2): 128-133.]
- [9] Gong J Y, Xia Z G. 3-D Data Model Integrated Vector and Grid [J]. Journal of WTUSM, 1997, 22(1): 7-15. [龚健雅, 夏宗国. 矢量与栅格集成的三维数据模型 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(1): 7-15.]
- [10] Chen Y H, Guo D Z. Study on 3-D Vector Data Model [J]. Journal of Cartography, 1999, 1: 41-48. [陈云浩, 郭达志. 一种三维GIS矢量数据结构的研究——以矿山应用为例 [J]. 测绘学报, 1999, 1: 41-48.]
- [11] Worboys M F. Object-Oriented Approaches to Geo-referenced Information [J]. Int J Geographical Information Systems, 1994, 8(4): 385-399.
- [12] Gong J H, Lin H. Virtual Geographic Environment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. [龚建华, 林晖. 虚拟地理环境 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.]
- [13] Zhong E S, Wang K H, Song G F et al. Integrated Model of Multiple Source Data [A]. Proceedings of Annual Conference of GIS in China '99 [C], 1999. [钟耳顺, 王康弘, 宋关福等. GIS多源数据集成模式评述 [A]. '99中国GIS年会论文集 [C]. 深圳, 1999.]
- [14] Su L H, Li X W, Wang J D. Extended L-system and 3-D Natural Scenery Simulation [J]. Computer Application, 2000, 20(2): 1-4. [苏理宏, 李小文, 王锦地. 扩展的L系统与三维自然景观物图形 [J]. 计算机应用, 2000, 20(2): 1-4.]
- [15] Goel N S. A High-Level Language for L-Systems and Its Applications. Springer-Verlag, New York: Inc, 1990.
- [16] Heam D, Backer M P. Computer Graphics [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998: 355-357. [Heam D, Backer M P. 蔡士杰译. 计算机图形学 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.]

The Object-Oriented 3-Dimensional Visual Data Model in the Quantitative Remote Sensing Research on the Vegetation

WU Men-xin^{1,2}, WANG Jin-di¹, XIE Dong-hui¹, ZHU Qi-jiang¹, XIANG Yue-qin³, QIN Wen-han³

(1. Department of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. National Meteorological Center/CMA, Beijing 100081;

3. Institute of Geography Science and Nature Resource Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract With the appearance of the realistic structure model in the quantitative remote sensing research on the vegetation, the visualization of the structure of the vegetation has become an important aspect of the realistic structure model. In the process of the research on the realistic structure model, a 3-dimensional visual data model is developed to construct the structure of the vegetation. The data model is based on the object-oriented approach and builds the geometric and logical relation among the objects through the object-combining, which is used to simulate successfully the scene of the winter wheat. The data model aims at providing the geometric and optical parameters for the RGM model and improving the accuracy of calculation of radiation of vegetation.

Key words object-oriented approach; data visualization; realistic structure model; quantitative remote sensing research