

## 基于 SketchUp 与 GIS 的森林景观可视化实现

吴兆艳, 汤孟平

(浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 森林景观可视化是随着计算机软硬件、三维地理信息系统(GIS)产业发展以及森林经营管理需求而产生的一种新技术, 可在景观设计、林业规划和森林防火等方面提供形象、直观的三维空间显示。以浙江省天目山国家级自然保护区为例, 以 AutoCAD 精确绘制的二维数据为基础, 利用 GIS 与 SketchUp 之间的 SketchUpESRI 插件把 shape 文件转成 SketchUp 可识别的 .skp 格式数据, 再用 Google SketchUp 智能化软件快速批量处理 GIS 数据, 最后将三维模型输出为 Multipart (\*.mdb) 格式的数据。在 ArcScene 中, 将森林场景、小班线与三维地物模型进行叠加, 实现漫游、查询、数据管理及空间分析, 达到快速实现森林景观可视化的目的。该方法可批量处理大区域的三维建模数据, 对森林景观可视化和森林旅游规划具有重要的参考价值。图 8 参 20

**关键词:** 森林测计学; 地理信息系统; Google SketchUp; 三维可视化; 森林景观

**中图分类号:** S757.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2012)03-0352-07

## Forest landscape visualization based on SketchUp and GIS

WU Zhao-yan, TANG Meng-ping

(School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Forest landscape visualization, a new technology, could be used in landscape design, forestry planning, and forest fire prevention by providing visual and intuitionistic three-dimensional displays. In this study of the National Nature Reserve of Mount Tianmu in Zhejiang Province, along with the development of computer hardware and software, 3D GIS industry, and forest management need, forest landscape visualization was utilized with precise 2D data mapping in AutoCAD as a basis. Then, using the SketchUp ESRI plugin of GIS and SketchUp, shape files were transformed into identifiable .skp format data in SketchUp. The next step, was to apply intelligent software known as Google SketchUp to quickly process batch GIS data. Finally, the model was exported into Multipart (\*.mdb) format data. Results produced forest scenes, subcompartment lines, and three-dimensional terrain models with ArcScene, which allowed for roaming, query, data management, and spatial analysis, to provide rapid forest landscape visualization. Thus, this method could process a large region's 3D modeling data thereby providing important reference values for forest landscape visualization and forest tourism planning. [Ch, 8 fig. 20 ref.]

**Key words:** forest mensuration; geographical information system (GIS); Google SketchUp; three-dimensional visualization; forest landscape

林相图是根据小班调查材料, 以林场为单位绘制的常用图面材料, 图中反映的内容有小班地类、优势树种、龄组、面积等因子<sup>[1]</sup>。传统手工绘制林相图存在工作量大, 反映内容少, 缺乏直观性且更新慢等缺点。随着计算机技术应用的普及, 数字林相图逐渐取代传统的林相图, 成为森林经营规划中常用

收稿日期: 2011-08-22; 修回日期: 2011-10-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30871963, 31170595); 浙江省自然科学基金资助项目(Y3080261); 浙江省科技计划项目(2009C32063); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(20101561)

作者简介: 吴兆艳, 从事森林可持续经营理论与技术研究。E-mail:wuzhaoyan18@163.com。通信作者: 汤孟平, 教授, 博士, 从事森林可持续经营理论与技术研究。E-mail:goodtmp@yahoo.com.cn

的二维平面图。数字林相图是利用抽象的符号表示各种树种，但是难以表现同一小班内树种组成及空间分布等信息，从信息载的意义上讲已经饱和。三维林相则相对弥补了这些缺点<sup>[2]</sup>。三维林相即森林景观可视化，不仅提供相关森林资源信息，如地类、树高、蓄积量、面积、历史变化信息及相关的统计结果，而且还能提供直观、形象的三维可视化仿真空间，对森林资源经营管理具有重要意义。因此，森林景观可视化技术在森林经营管理中具有巨大的应用潜力<sup>[3]</sup>。森林景观可视化在林业中的研究和应用尚处于起步阶段。在国内外研究中，大多注重树木个体建模和虚拟森林三维场景的再现，忽视森林景观中其他地物(建筑物、道路、河流等)，使得森林景观不够逼真。同时在三维景观制作方面，存在平台单一，场景制作技术复杂及应用局限性<sup>[4-12]</sup>。不仅如此，建立森林景观可视化系统，需要处理海量数据。如何利用现有的地理信息系统(GIS)数据，快速、批量地生成三维模型，如何既实现逼真的场景效果又满足 GIS 空间分析、属性查询等需要也是森林景观可视化研究的难题。Google SketchUp 的出现使得在 ArcGIS 平台下进行森林景观三维可视化成为可能<sup>[13]</sup>。针对目前森林景观三维可视化研究和应用中存在的以上问题，本研究以浙江省天目山国家级自然保护区森林景观为例，提出基于 SketchUp 和 GIS 两者相结合方法进行森林景观可视化研究。利用 SketchUp 快速批量处理 GIS 数据的功能，达到快速建模的目的。此技术既利用现有的 GIS 数据批量生成三维模型，又满足 GIS 空间分析、属性查询功能，同时兼顾模型和场景真实感。从而使人工地物和自然景观同时进行可视化，实现森林景观更加逼真，形象，给人一种直观的感受。

## 1 研究区域概况

浙江省天目山国家级自然保护区位于浙江西北部临安市境内的西天目山，主峰仙人顶海拔为 1 506 m，是中国东部中亚热带北缘森林的一个代表地段，对反映南方同类型森林空间特征有显著的代表性。1986 年该地区被批准为国家级自然保护区，1996 年又被接纳为联合国教科文组织国际生物圈保护区网络成员。保护区总面积为 4 284 hm<sup>2</sup>，区划共 105 个小班，其中 5 个为无林班。研究区中不仅有古树等自然景观，也有禅源寺等人文景观；不仅是重要的旅游之地，也是生物圈保护的重要之地。对研究区进行森林景观可视化研究，可以通过海量三维空间数据可视化显示，提取森林景观空间信息，为制定保护区旅游规划和森林经营管理措施提供可视化分析方法<sup>[14]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 Google SketchUp 简介

Google SketchUp 是 Google 公司于 2006 年推出的一套直接面向设计方案创作过程的工具集合，具有强大的三维绘制功能，界面简单，容易入手，可快速和方便地对三维模型进行创建、编辑、修改和渲染，目前有 2 个版本：Free 版和 Pro 版，但只有在 Pro 版本才能运行 SketchUpESRI 插件<sup>[15]</sup>。

### 2.2 SketchUpESRI 插件

SketchUpESRI 插件是专为 Google SketchUp Pro 和 ArcGIS 结合推出的，包括 2 个部分：GIS Plugin 和 3D Analyst SketchUp 3D Symbol Support，两者分别装在 SketchUp 和 ArcGIS 的安装目录下。利用插件进行森林景观可视化的技术方法：ArcMap 中加载并导出矢量数据，SketchUp 中三维建模，ArcCatalog 中创建 New Personal Geodatabase，将 SketchUp 中的 3D 模型导入 Multipatch 数据中，在 GIS 中森林景观场景和模型相叠加并实现漫游、空间分析等操作。其具体操作和流程见图 1<sup>[16]</sup>。

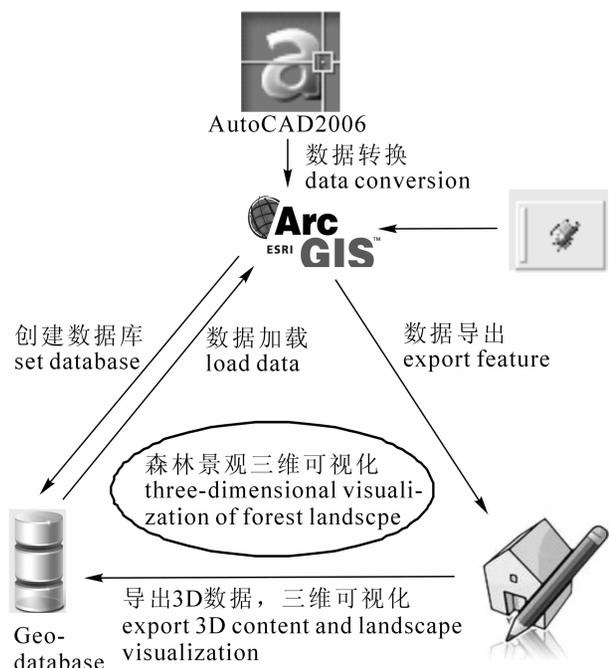


图 1 SketchUp 和 ArcGIS 的三维建模互动  
Figure 1 SketchUp and ArcGIS 3D modeling interaction

### 3 数据来源与数据处理

#### 3.1 数据来源

基础数据主要包括天目山自然保护区 1:1 万地形图、森林资源二类调查数据、二维基础地理数据 (CAD 数据)、建筑物高度数据、地物影像数据。矢量化地形图获取数字高程模型 (DEM) 高程数据, 全站仪和 GPS-RTK 采集必要的地形地物等控制点和碎部点信息, 利用全站仪悬高测量法获得建筑物的高度, 数码相机获取建筑物、道路、水体等地物的真实影像数据。

#### 3.2 数据预处理与数据转换

获取外业采集的测量碎部点信息后, 在 AutoCAD 下对二维数据进行编辑绘制。对于建筑物、水体、道路用复合线绘制成面。删除不必要的图层、符号、注记等, 保留建筑物、水体、道路等面状或线状地物 (图 2)。然后, 在 ArcGIS 下利用 Conversion tools 工具将 CAD 数据转成 .shp 格式的矢量数据。精确设置坐标系统, 并根据研究区地理位置和实际工作需要, 在 ArcCatalog 下选择 “Beijing\_1954\_3\_Degree\_GK\_Zone\_40” 为平面投影坐标系统 (图 3)。在 ArcGIS 中把建筑物、水体、道路等转化为面属性, 由于在转出的过程中, 点、线、面的属性表中属性字段增加, 为减少数据量, 删掉不必要的属性字段, 整理添加各自所需属性字段 (如拉伸高度、楼层数、地物名称、用途等), 并输入属性值。最后通过 ArcGIS 与 SketchUp 之间转换插件 3D Analyst SketchUp 3D Symbol Support 工具将定义了投影坐标的 Shape 文件转入到 SketchUp 里面<sup>[17-18]</sup>, 即坐标系统也带入到 SketchUp 中, 目的是 GIS 和 SketchUp 中的坐标系统保持一致性, 这在 3D GIS 中是非常关键的。

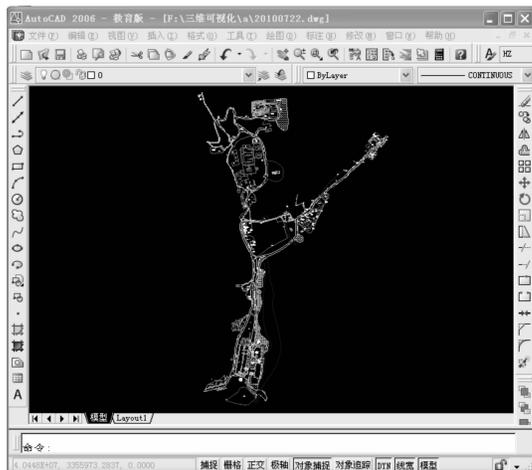


图 2 在 AutoCAD 下创建地形图  
Figure 2 Create topographic map in AutoCAD

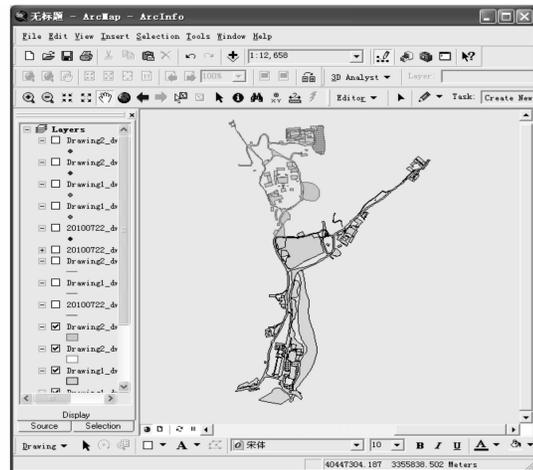


图 3 将 .dwg 格式转换成 .shp 格式  
Figure 3 Convert .dwg to .SHP in ArcGIS

### 4 三维建模

虚拟场景中构建的地理对象是根据三维空间分布特征而划定的, 可以分为 2 类: 一类是以场景为基础对象, 如地形、树种等分布, 这类对象在空间上连续分布, 成为地形景观对象。另一类是离散实体为特性的对象, 如建筑物、道路、水体等, 这类对象以独立的个体而存在, 称为独立地物对象<sup>[19]</sup>。

#### 4.1 Google SketchUp 中独立地物的三维建模

根据 GIS 中地理要素的分类, 可将独立地物分为: 点状要素、线状要素、面状要素, 这 3 种独立地物要素均可在 SketchUp 中实现批量快速三维建模。在地理环境中, 树木、指示牌、垃圾桶、路灯等往往被抽象成点状要素。对于点状地物的建模, 可采用从 Google earth 网络资源下载点状地物组件或者在 SketchUp 中直接建模的方法。线状要素主要是指墙体、电力线、道路等, 其特点是只有简单的面和线构成, 通过拉伸、旋转、填充相应材质属性等方法构建立体效果。而对位于起伏地形上的道路建模, 利用 SketchUpESRI 插件, 将天目山 TIN 数据导入到 SketchUp 中, 利用 SketchUp 中沙盒 (Sandbox) 工具栏中的拉伸 (Drape) 生成起伏的效果, 便可实现平面道路到起伏地形曲面的投影<sup>[20]</sup>。在地物三维建模中, 建

筑物等面状地物模型的建模难度和工作量最大，但由于在 ArcGIS 中将.shp 格式的 Polygon 文件转换成.skp 格式时，已将高度属性作为拉伸字段自动生成了面地物(建筑物、水体等)高度，形成了实际地物的轮廓图。因此只需要在原有的基础上，通过拉伸、挤压等修饰方可构建。这在建立大范围的三维建筑模型时可以节省大量时间和工作量(图 4)。一般情况下，河流低于周围地形，沿 Z 轴反向拉伸。地物的真实性很大程度取决于材质纹理，其材质和纹理的处理方法为：利用软件自带的材质或利用数码相机获取建筑的真实材质，然后在 Photoshop 中利用裁剪、锐化、压缩等功能，清除无用的材质，最后利用 SketchUp 材质生成器转换成.skm 格式，作真实地物的贴图纹理，以体现研究区建筑物的实际情况(图 5)。

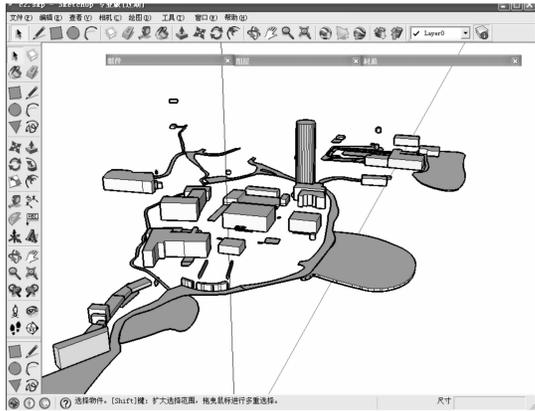


图 4 从 GIS 中导入 SketchUp 下的三维模型  
Figure 4 3D model from GIS to SketchUp

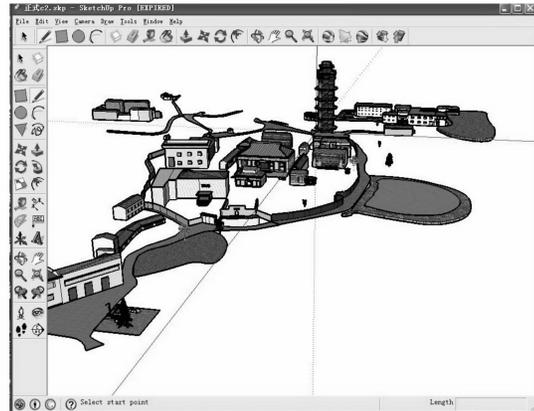


图 5 在 SketchUp 下完成三维建模  
Figure 5 Complete the 3D model in SketchUp

## 4.2 森林场景的三维建模

森林场景的三维建模主要包括林地三维地形建模和林木三维个体建模技术。

**4.2.1 树木个体的建模** 树木的三维建模是景观可视化的基础。就个体尺度建模而言，现有的树木建模软件和方法较多，可以用简化的 3D 符号、2D 图形、3D 面叠加整合、Onyx Tree 以及 The AMAP SYSTEM 等来表达。本研究主要运用 2 种方法。方法一，采用基于图像纹理交叉的三维树木建模方法，根据树高和拍摄点到树木之间的距离，拍摄树木照片，在 Photoshop 下处理树木照片获取树木纹理，在 3D MAX 软件中利用交叉的方法创建三维树木模型。本研究经试验证明：此方法具有效果逼真、内存占有量少，渲染时间短，大大缓解了森林可视化过程中因数据量大给计算机带来的内存压力，为森林景观可视化研究探索出一种有效的方法。但是对于生长较为复杂的树木，则制作方面较为繁琐。方法二，由于保护区内有 4 个含有毛竹 *Phyllostachys edulis* 和雷竹 *Phyllostachys violascens* 的小班，竹既有丛生竹，又有散生竹，纹理复杂，不易采用方法一制作。而 Onyx Tree Bamboo 插件是美国 Onyx Computing Inc.公司开发的 Onyx Tree Professional 商业树种可视化软件的插件之一，用于创建各种 3D 竹子模型。本研究利用 Onyx Tree Bamboo 创建竹子的 3D 模型。此方法制作时间较短，可根据生长情况创建各种角度的符号。但是由于建模精度增加，内存占用量增加，所以运用 Onyx Tree 创建的三维模型不适用于含有大量树木的森林可视化。鉴于此，考虑到场景的真实性，本研究采用 2 种方法相结合的方式。此外，美国环境资源研究所 ESRJ 公司推出的地理信息系统软件 ArcGIS 中自带的一些三维树木符号库(3D Forest)，也在本研究中得到应用。

**4.2.2 小班属性创建** 森林资源二类调查数据每 10 a 进行 1 次，以小班为调查的基本单元，记录了每个小班的权属、地类、面积、树种组成、平均胸径、平均高、郁闭度、疏密度、蓄积量、株数等信息。根据纸质林相图，对小班线进行矢量化，并输入小班调查数据，创建小班属性表，共有 105 个小班，小班内主要优势树种：柳杉 *Cryptomeria fortunei*，杉木 *Cunninghamia lanceolata*，黄山松 *Pinus taiwanensis*，马尾松 *Pinus massoniana*，樟树 *Cinnamomun camphora*，栎树 *Quercus* sp.，枫香 *Liquidambar formosana*，椴树 *Tilla* sp.，雷竹和毛竹等 10 多个树种。

**4.2.3 3D 树木符号图层创建** 根据森林资源二类调查数据，每个小班的树木株数较多，如果对每株树木进行可视化，则占用内存大，从而影响计算机的运行速度。研究采用小班树木株数的 20%，然后利用

C++编程算法, 采用随机方法产生树木点位置, 并从 TIN 上获取树木点的高程数据; 根据树种组成, 按比例分配各树种的树木点数量。对每个树种创建 1 个树木图层, 即建立树木 3D 点符号图层(图 6)。

4.2.4 森林场景建立 数字地形模型(digital terrain model, 即 DTM)是森林场景的重要组成部分。三维地形数据结构是构造地形场景的基础, 关键技术是数字高程模型(DEM)的表达。DEM 数据组织较多的是用不规则三角网(TIN)模型或规则网格(GRID)模型。本研究采用是对天目山 1:1 万地形图底图进行等高线矢量化, 创建.shp 文件, 构建 TIN, 生成数字高程模型 DEM。并在 ArcScene 中将 TIN 和小班面图层以及各树种的 3D 点符号加载进来, 小班面获取 TIN 上的高程数据进行叠加, 用三维树木符号替代 3D 树木点符号, 实现森林场景的可视化(图 7)。

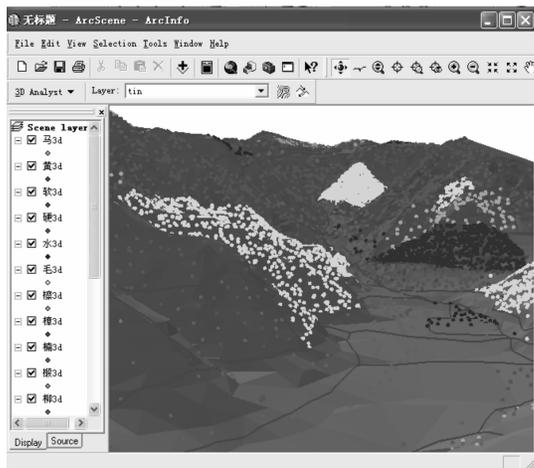


图 6 创建 3D 树木点符号图层  
Figure 6 Create 3D tree points symbol layer

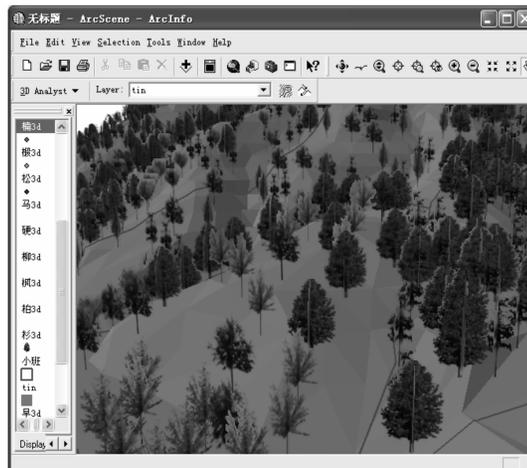
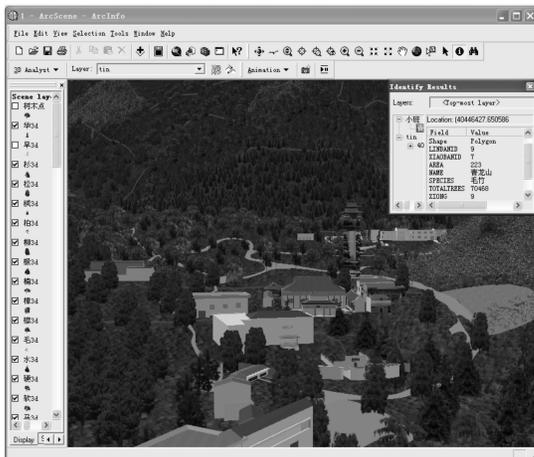


图 7 三维可视化场景  
Figure 7 Three-dimensional visualization scene

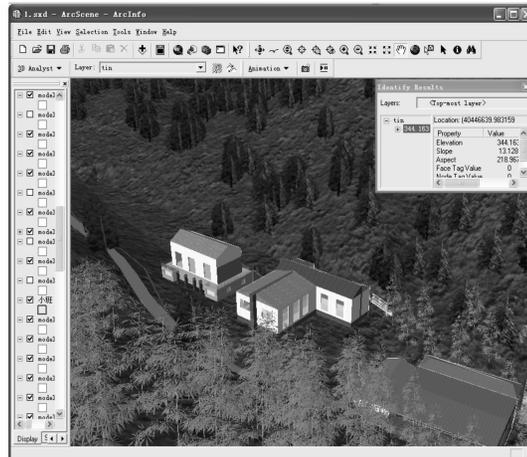
### 4.3 森林景观三维可视的实现

以上建模完成后, 需要把森林场景和独立地物模型进行叠加, 实现森林景观三维可视化。由于 SketchUp 中的一个组件(Group)对应 ArcGIS 中的一个 Multipatch。因此, 应根据 3D GIS 的需要对不同的建筑、植物、道路、水体等分类创建成组件, 并分成不同的图层, 对每个组件添加实体属性信息(例如, 建筑物名称、层数、用途等), 目的是在输出的结果里不同组件对应不同的属性记录, 以便在 ArcGIS 中利用不同组团的属性数据进行相关分析和属性查询<sup>[17]</sup>。

为了利用 GIS 强大的空间分析与数据管理功能, 创建一个 New Personal Geodatabase, 利用 SketchUp Plugin 插件将三维模型转化为 ESRIMultiPatch(\*.mdb)文件类型, 把三维模型输出为 \*.mdb 格式的文件。



A



B

图 8 天目山森林景观可视化效果

Figure 8 Forest landscape visualization in Tianmu Mountain

在 ArcGIS 的 ArcScene 或 ArcGlobe 中将小班数据、3D 树木符号、地形场景与三维地物模型数据相互叠加，实现直观、逼真的森林景观可视化(图 8A)。

由于利用 ArcGIS 强大的空间分析与数据管理功能，根据实际情况，可在属性信息表里添加相应的字段并输入有关的信息，比如：建筑物可以包含楼房建造的年代、功能、主要用途等；树木可以包含树木年龄、胸径、冠幅、材积等指标，实现管理和辅助分析<sup>[15]</sup>。同时，可以根据自己的需要利用 ArcGIS 强大的空间分析能力进行有关森林景观格局分析，例如在三维场景的浏览过程中，通过视点的切换和地形纹理的改变可以使景观在效果上突出局部区域的林种分布状况及地形信息(图 8B)。在空间分析中，可进行最优路径选择，从而判断扑救森林火灾最佳路径，以及最佳旅游路线的选择，森林景观规划与分析等。

## 5 结论

本研究将 SketchUp 和 GIS 技术两者相结合实现了森林景观可视化。首先，矢量化地形图，创建树木图层、小班图层，建立森林场景；其次，利用全站仪与 GPS 采集地物坐标信息，在 AutoCAD 中成图；利用 ArcGIS 与 SketchUp 之间的插件把 shape 文件导入 SketchUp 中，进而在 SketchUp 快速批量化建模，将建好三维模型导入 Geodatabase 中存储，最终利用 GIS 强大的空间分析与数据管理能力，实现天目山森林景观可视化。实践证明：根据森林资源二类调查数据、地形图和地物采集数据实现森林景观三维可视化，是对森林景观中的小班、地形和地物主要空间信息的直观、形象表达，是对二维林相图的新发展，为森林资源信息管理提供了新的可视化技术方法，可为森林可视化管理、分析、指挥、决策提供技术支持，并对具有沉浸式、交互式森林旅游开发和森林景观规划具有现实意义。

## 6 讨论

在森林景观三维可视化研究过程中，遇到比较多的问题，这里对几个重要的技术问题进行简要讨论，以供今后的研究参考。①保持地理坐标系统的一致性：以往利用 SketchUp 建模时，是把 CAD 数据直接导入到 SketchUp 或 3DMAX 中建模，使地物不具备坐标信息。本研究运用插件实现了在建模过程中将不同建筑物的位置与空间位置信息相配准，这对于今后实现大规模三维可视化与信息管理具有十分重要的意义。②批量化处理三维模型：三维可视化中常见的方法是将建好的三维模型以点或线符号形式导入 ArcGIS 中，从而造成模型大小改变、方位变形、材质丢失等问题。利用 SketchUpESRI 插件导出数据后，三维模型轮廓更清晰、平滑，材质不易丢失和颜色不发生失真等现象。③数据互操作：ArcGIS 是一款非常优秀的地理信息系统软件，在空间分析和动态模拟有很大优势，SketchUp 软件是一套智能化三维建模软件，能快速批量处理数据。在数据操作过程中，两者都充分发挥了各自批量生成三维模型和数据管理的优势。目前，SketchUp 较小的数据，可以很好地实现互操作，但数据过大就会出现一些问题(文件大于 100 M)，要实现两大软件数据格式的高效率转化，尤其是在大数据转换中的互操作，还需要进一步深入的研究。④海量数据问题：大区域的三维场景建立时，势必会增加存储空间，这将影响计算机运行速度。因此，如何将一些专业建模软件中高级技术如 LOD，BSP，Occlusion 等技术引入 GIS 中，以减少数据量，更好地为三维 GIS 服务是今后研究的一个方向。

### 参考文献：

- [1] 亢新刚. 森林资源经营管理[M]. 北京：中国林业出版社，2001：69 - 75.
- [2] 罗传文. 三维虚拟林相的制作技术研究[J]. 林业科学，2003，**39** (3)：169 - 171.  
LUO Chuanwen. Studies on the construction of 3D virtual forest [J]. *Sci Sil Sin*, 2003, **39** (3)：169 - 171.
- [3] 冷文芳，代力民，贺红士，等. 三维可视化软件在辽东山区森林生态系统管理中的应用[J]. 应用生态学报，2008，**19** (7)：1437 - 1442.  
LENG Wenfang, DAI Limin, HE Hongshi, et al. Application of 3D visualization software in forest ecosystem management in eastern Liaoning mountainous region [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19** (7)：1437 - 1442.
- [4] 唐丽玉，陈崇成，权兵. 森林景观的计算机建模与可视化研究进展[J]. 林业科学，2006，**42** (10)：109 - 116.  
TANG Liyu, CHEN Congcheng, QUAN Bing, et al. Advances in forest landscape's computer modeling and visual-

- ization [J]. *Sci Sil Sin*, 2006, **42** (10): 109 – 116.
- [5] 高桂桂, 苏喜友. 森林景观三维建模技术研究进展[J]. 世界林业研究, 2008, **21** (2): 22 – 25.  
GAO Guigui, SU Xiyu. Progress in the study of 3D modeling technology of forestry landscape [J]. *World For Res*, 2008, **21** (2): 22 – 25.
- [6] 孙敏, 马蔼乃, 毛善君. 3D GIS 中树的表达和可视化研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, **13** (10): 901 – 905.  
SUN Min, MA Ainai, MAO Shanjun. Tree representation and visualization in 3D GIS [J]. *J Comp-aided Des & Comp Gr*, 2001, **13** (10): 901 – 905.
- [7] 张一凡. 虚拟森林场景的三维可视化的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.  
ZHANG Yifan. *The Research of Virtual Forest Scene 3D Visualization* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009.
- [8] 孔川. 三维地形和自然景观可视化研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.  
KONG Chuan. *The Research on Visualization of 3D Terrain and Natural Landscape* [D]. Changsha: Central South University, 2010.
- [9] 张敏, 张怀清. 虚拟森林环境构建研究[J]. 林业科学研究, 2008, **21** (增刊): 55 – 59.  
ZHANG Min, ZHANG Huaiqing. Research on virtual forest environment construction [J]. *For Res*, 2008, **21** (supp): 55 – 59.
- [10] 陈崇成, 唐丽玉, 权冰, 等. 基于信息管理的一种虚拟森林景观构建及应用探讨[J]. 应用生态学报, 2005, **16** (11): 2047 – 2052.  
CHEN Congcheng, TANG Liyu, QUAN Bing, *et al.* Construction of information management based virtual forest landscape and its application [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (11): 2047 – 2052.
- [11] EN-MI L, TSUYOSHI H. Three-dimensional visualization forest of landscapes by VRML [J]. *Landscape & Urban Plann*, 2003, **63**: 175 – 186.
- [12] FALCÃO A O, dos SANTOS M P, BORGE J G. A real-time visualization tool for forest ecosystem management decision support [J]. *Comp Electron Agric*, 2006, **53** (1): 3 – 12.
- [13] 万剑华, 潘正凤. 城市三维地理信息系统研究的几个焦点问题[J]. 测绘通报, 2002 (7): 211 – 213.  
WAN Jianhua, PAN Zhengfeng. Several research focuses on three dimensional urban geographic information system [J]. *Bull Surv & Map*, 2002 (7): 211 – 213.
- [14] 章雪莲, 汤孟平, 方国景, 等. 一种基于 ArcView 的实现林分可视化的方法[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (1): 78 – 82.  
ZHANG Xuelian, TANG Mengping, FANG Guojing, *et al.* A method of realizing stand visualization based on Arcview [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (1): 78 – 82.
- [15] 柴贵海, 廖邦洪, 胡庭兴. 基于 SketchUp 和 ArcGIS 对虚拟校园的设计与实现[J]. 测绘科学, 2009, **34** (6): 270 – 272.  
CAI Guihai, LIAO Banghong, HU Tingxing. Design and realization of the virtual campus based on SketchUp and ArcGIS [J]. *Sci Surv & Map*, 2009, **34** (6): 270 – 272.
- [16] 许捍卫, 范小虎, 任家勇, 等. 基于 SketchUp 和 ArcGIS 的城市三维可视化研究[J]. 测绘通报, 2010 (3): 52 – 54.  
XU Hanwei, FAN Xiaohu, REN Jiayong, *et al.* Research on 3D visualization of digital city based on SketchUp and ArcGIS [J]. *Bull Surveying & Mapping*, 2010 (3): 52 – 54.
- [17] 常河. Google SketchUp 与 ArcGIS 在城市三维地下综合管网中的应用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2008.  
CHANG He. *The Research of Google SketchUp and ArcGIS in 3D City Integrated Underground Pipeline Application* [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2008.
- [18] 单楠. 基于 SketchUp 与 ArcGIS 的三维 GIS 开发技术研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.  
SHAN Nan. *The 3D GIS Development Technology Research Based on SketchUp and ArcGIS* [D]. Chongqing: Southwest university, 2009.
- [19] 龚建华, 林晖. 虚拟香港中文大学校园的设计与初步试验[J]. 测绘学报, 2002, **31** (1): 9 – 43.  
GONG Jianhua, LIN Hui. Designing and developing the virtual campus of the Chinese University of Hong Kong [J]. *Acta Geod Cartogr Sin*, 2002, **31** (1): 9 – 43.
- [20] 鲁英灿, 康玉芬. SketchUp 设计大师提高[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 125 – 131.