

数字流域三维地形景观构建的研究

李壁成^{1,2}, 李世华³, 闫慧敏⁴

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100;
3. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;
4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 主要探讨了三维地形景观的建立。采用全数字摄影测量获取数字高程模型(DEM) 和数字正射影像(DOQ), 利用 DEM 构造三维地形模型, 将 DOQ 纹理映射到三维地形模型上获得三维地形景观。
关键词: 三维; 地形; 景观; OPENGL

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)03-0112-03

Study on 3D Terrain Landscapes Construction of Digital Watershed

LI Bi-cheng^{1,2}, LI Shi-hua³, YAN Hui-min⁴

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource;
2. Northwestern Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
4. Institute of Geographical Sciences and Natural Resource Research of CA S, Beijing 100101, China)

Abstract: 3D terrain landscapes construction method is discussed. Digital elevation model(DEM) and digital orthophoto(DOQ) are acquired from full digital photogrammetry technology. 3D terrain model is constructed by DEM and DOQ is texture mapped 3D terrain model, thus the 3D terrain landscapes is constructed.

Key words: 3D; terrain; landscapes; OPENGL

1998 年戈尔提出“数字地球”^[1]的概念, 各国政府和科技界都对此产生了浓厚的兴趣, 接着一系列的名词如“数字国土”、“数字城市”、“数字流域”等概念也随之产生。这些研究的一个直接结果是虚拟现实技术与 3S 技术即遥感技术(RS)、地理信息系统技术(GIS) 和全球定位系统(GPS) 的结合。在现在大多数比较成熟的 GIS 和 RS 软件中都有虚拟景观这个模块, 如著名的遥感图象处理软件 IMAGINE ERDAS 有 1 个 Virtual GIS 模块用来建立三维虚拟景观。

黄土高原以其深厚的黄土、完整的黄土- 古土壤剖面 and 严重的水土流失, 而成为全球关注的研究地区^[2]。黄土高原的水土保持和生态环境建设是中国可持续发展的关键因素之一。黄土高原地形破碎, 切割非常严重, 成功建立局部虚拟景观将为整个黄土高原虚拟景观的建立、监测水土流失都有很重要的意义。数据的采集、三维地形模型构建和纹理映射是建立虚拟景观的三大要素。

1 研究区概况

固原试区位于宁夏回族自治区固原县河川乡上黄村, 地

处黄土高原西部的宁南宽谷丘陵沟壑区, 地理位置东经 106° 26′ ~ 30′, 北纬 35° 59′ ~ 36° 02′, 海拔 1 534. 3 ~ 1 822 m, 面积 7. 6 km², 比高约 300 m, 为侵蚀堆积地貌, 土壤侵蚀强烈。年均温 6. 9℃, 年均降水量 420 mm, 为温凉半干旱气候灌丛草原地理景观^[3]。

该地区可以使用的数据主要有: 1995 年 1: 30 000 彩红外航片, 像幅 23 cm × 23 cm; 宁夏回族自治区测绘处和陕西省测绘局 1977 年调绘, 1979 年出版的 1: 10 000 地形图; 该区域附近的 3 个国家等级三角点, 其他数据还有土地利用现状等专题图件。

2 数据采集

建立虚拟景观所需要的主要数据是数字高程模型(DEM) 和纠正过的数字正射影像(DOQ)。DEM 是一种用 X、Y、Z 坐标表达地表形态的数字形式, 它能反映区域内的地形条件。DEM 可以航空影像为信息源, 通过解析摄影测量生成。DOQ 是指消去由于相机倾斜、地形起伏以及地物等引起的畸变后从地面上无穷远处竖直向下看的影像。DOQ 的制作方法

① 收稿日期: 2004-12-22
基金项目: 国家“十五”重大科技攻关课题(2001BA606A- 4)
作者简介: 李壁成(1945-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土保持与流域生态管理 3S 应用研究及生态农业综合研究。

是将航空象片扫描数字化后, 利用 DEM 数据以及一般地形图上选取控制点或利用加密成果对数字影像对进行微分纠正, 经过影像镶嵌、坐标转换及图象切割、图面整饰后生成。

2.1 像控点布设

由于本次研究区面积较小, 只涉及 1 30 000 彩红外航片两个像对, 工作量不是很大, 所以为提高精度采用全野外方式布点。共布设 10 个点, 6 个是像片控制点, 4 个作为检查点。

2.2 GPS 网布网方案

采用边点连接式即通常所说的三角网法布设, 联测 3 个国家等级三角点和 10 个新布设的像片控制点, 共由 14 个同步环及 32 条基线组成。仪器采用 3 台加拿大产 GN8 单频 GPS 接收机按静态相对定位模式进行数据采集, 接收机标称精度为 1 cm+ 2 ppm。观测时段为 60 min, 采样间隔 10 s。平面、高程系统分别采用 1954 年北京坐标系与黄海高程系, 按 3 度带分带计算。

2.3 数据预处理

数据预处理的主要目的是对原始数据进行加工、编辑以剔除无效观测值和冗余信息并分流产生各种专用信息文件, 为进一步平差计算做准备。数据预处理和基线解算在便携机上采用 GPS 随机软件 P- RTK 自动完成。

2.4 基线向量网平差

GPS 基线向量网平差的目的是消除许多图形闭合条件不符值, 以求定各 GPS 网点的坐标并进行精度评定。本次平差计算采用北京开祥卫星科技公司提供的 ADJNET 软件在台式机上进行。以两个三角点为平面控制条件进行国家 54 坐标系约束平差, 以其与水准点的高程进行高程拟合。

2.5 DEM、DOQ 的开发制作^[4]

DEM 的开发制作在美国 HELAVA 公司推出的 DPW 数字摄影测量工作站上进行, 其核心软件是 SOCET SET。使用 SOCET SET 中的自适应 ATE(自动地形采取)方法进行地形采集。自适应 ATE 使用了一种推理工具自动地根据地形类型(平原、丘陵、山地等)来选择相应的影像相关策略计算地形高程数据。

数字正射影像制作包括影像纠正和影像镶嵌两部分, 在 SOCET SET 中的正射影像模块(Orthophoto)中进行。首先

确定正射影像的大小; 然后输入 DEM 文件, 确定正射影像的采样距离(GSD), $GSD(英尺/象素) = SCALE / (dpi * 12)$, 其中 SCALE 为比例尺分母即 5 000, dpi 为每英寸的点数; 最后通过像素重采样和几何变换生成正射影像。影像镶嵌是由两个像对生成的两个正射影像拼接在一起生成一幅新影像的过程, SOCET SET 对两幅影像接边处色彩自动进行平衡调整。

3 三维地形模型构造

三维地形模型构造和纹理映射都使用专用图形处理硬件的软件接口 OpenGL 构造和生成。图 1 为利用 OpenGL 构造三维地形景观流程图。OpenGL 被作为图形工业标准广泛应用于各种工作站(基于 X- Windows)和高档微机(基于 Windows NT)。OpenGL 由几百个过程和函数组成, 大多数 OpenGL 系统要求图形硬件系统中包含至少一个帧存(frame buffer), OpenGL 的调用涉及点、线、多边形及位图的操作^[5,6]。

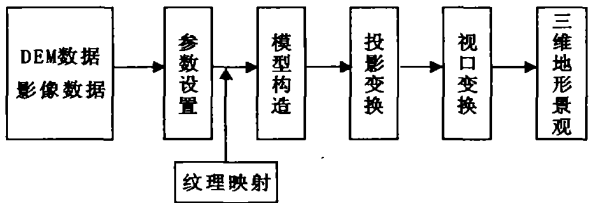


图 1 用 OpenGL 构造三维地形景观流程图

构建三维地形模型的基础数据为 DEM。OpenGL 直接操作 3D 及 2D 图形的基本操作, 这些操作包括转换矩阵、光照模型和光线跟踪、反走样方法以及像素更新操作。首先进行坐标变换, OpenGL 的模型视(model-view)矩阵可将顶点坐标生成观察(eye)坐标, 它有许多指令可以设置、修改投影矩阵和模型视矩阵。OpenGL 提供两种光源: 点光源和无限光源。光照射到物体表面一般会产生反射、透射和吸收三种情形, 本试验只考虑反射情形。最后进行反走样和隐藏面消除, OpenGL 提供对一个点、一条线段或者一个多边形反走样的指令, 可以用 Z- buffer 方法记录在每个像素点距离眼睛最近的物体, 从而消除隐藏面。

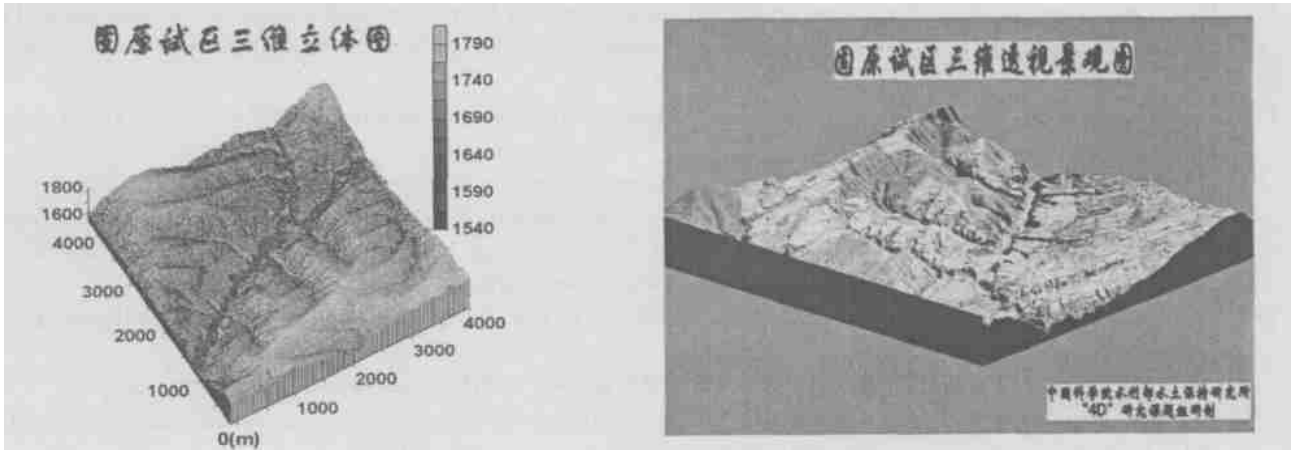


图 2 固原试区地形三维立体图与三维透视景观图

4 纹理映射

纹理映射是把一个指定的图象的一部分映射到允许贴纹理的每一个图元。此映射通过使用一个基片的(s,t)坐标

指定的单元中图象的颜色改变此基片的 RGBA 颜色实现。OpenGL 提供了一种可以规定如何产生图元纹理细节的方法。这些细节包括要被纹理映射的图象的说明, 过滤图象的方法, 用于决定给基片颜色值和图象的函数, 以及所产生的

RGBA 值。

纹理映射技术可以将任意的平面图形或图象覆盖到物体表面(此处物体表面即为地形三维模型)上,在物体表面上形成真实的颜色纹理。在计算机图形学中,纹理被定义成一光亮度函数,纹理函数可以是一维(定义域是一条曲线)、二维(定义域是一个曲面)或是高维的。

最常用的为二维光亮度函数,也可以由一个数学模型定义或由一幅平面图象定义。

对于本项研究而言,纹理函数由一个二维图象阵列——数字正射影像图数据来定义,由于这是一个离散的栅格数据,因此在映射之前,需要在纹理空间(U,V)用这些离散数据构造连续的纹理函数 $f(U,V)$ 。最简单易行的办法是对栅格数据进行双线性内插(bilinear interpolation)。首先将纹理映射到三维地面,然后再映射到屏幕图象。

参考文献:

[1] Al Gore. The Digital Earth: Understanding Our Planet in the 21st Century[R]. Los Angeles: the California Science Center, 1998.

[2] 朱显谟,田积莹. 强化黄土高原土壤抗冲性和入渗性[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 7– 10.

[3] 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测[M]. 北京: 科学出版社, 1995.

[4] 张永生,等. 集成化数字摄影测量工作站软件、硬件及其使用[M]. 北京: 星球地图出版社, 1998.

[5] 廖朵朵,张华军. OpenGL 三维图形程序设计[M]. 北京: 星球地图出版社, 1996.

[6] 吴海平,等. OpenGL 图形程序设计及应用环境[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.

[7] 李世华,李壁成,胡月明. 黄土高原小流域景观虚拟现实技术研究与应用[J]. 水土保持通报, 2003, 23(5): 46– 49.

(上接第 49 页)

改变。当然,对于 CO₂ 的流向可以进行动态的检测,从这三个方面综合地去研究、去考虑。

参考文献:

[1] 解宪丽,孙波,等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 35– 43.

[2] 吴建国,张小全,等. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 593– 599.

[3] 孙维侠,史学正,等. 我国东北地区土壤有机碳密度和储量的估算研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(2): 298– 300.

[4] 方运霆,莫江明,等. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳贮量和分配特征[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 135– 142.

[5] IPCC. Land use, land-use change, and forestry, Summary for Policymakers, a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[EB]. Geneva, Switzerland, 2001. 1– 20. Available from <http://www.Ipcc.ch/Pub/srlulucf-e.pdf>.

[6] IPCC. Climate change 2001. The science of climate change. Summary for policymakers a report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change[EB]. Geneva, Switzerland, 2001. 1– 98. Available from <http://www.Ipcc.ch/pub/spm2-01.pdf>.

[7] Brown S and Lugo A E. Storage and Production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle[J]. Biotropic, 1982, 14: 161– 187.

[8] Brown S, Sathaye J, Cannell M, et al. Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions[A]. In: Watson R T, Zinyowera M C, and Moss R H, eds. Climate change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific– Technical Analyses[M]. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 1996.

[9] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon Pools and flux of global forest system[J]. Science, 1994, 263: 185– 190.

[10] 周玉荣,于振良,赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518– 522.

[11] Sampson R N, Apps M, Brown S. Terrestrial biosphere carbon fluxes quantification of sinks and sources of CO₂[J]. Water Air and Soil Pollution, 1993, 70: 3– 15.

[12] Sombroek W G, Nachtergaele F O, Hebel A. Amount, dynamics and sequestrating of carbon in tropical and subtropical soils[J]. Ambio 1993, 22(7): 417– 426.

[13] 王绍强,周成虎,李克让,等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 533– 544.