

# 黄土高原小流域景观虚拟现实技术研究与应用

李世华<sup>1</sup>, 李壁成<sup>2</sup>, 胡月明<sup>1</sup>

(1. 华南农业大学地理信息系统研究室, 广东 广州 510642; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 以“数字地球”为指导思想, 通过三维地形模型构建、纹理映射和实时动态立体显示等技术开发了小流域虚拟现实景观, 其真实感强、地表信息丰富、精度高、动态性强、可视化程度高。探讨了小流域景观虚拟现实技术在水土保持中的应用。

**关键词:** 水土保持; 虚拟现实; 小流域景观

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2003)05-0046-04

**中图分类号:** P208

## Research and Application of Landscapes Virtual Reality Technology to Small Watershed

LI Shi-hua<sup>1</sup>, LI Bi-cheng<sup>2</sup>, HU Yue-ming<sup>1</sup>

(1. GIS Lab, South China Agriculture University, Guangzhou, 510642 Guangdong Province, China;

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water

Resources, Yangling District 712100, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** Guided by digital earth and based on 3D terrain model construction, and using orthophoto map texture mapping and real time dynamic stereo showing technology, small watershed virtual reality landscapes are researched and developed. Small watershed virtual reality landscapes have high substations, plentiful terrain information, high accuracy, and are easily depicted audio-visually for dynamic observation. The applications of landscapes virtual reality technology to small watersheds are discussed.

**Keyword:** soil and water conservation; virtual reality; small watershed landscape

1998年1月31日美国前副总统戈尔根据当今信息技术与理论的飞速发展和对社会、经济的深刻影响,提出了“数字地球”的概念,受到全世界的广泛关注。我国政府和科技界对此进行了深入系统的研究与讨论,一致认为加快发展中国的信息产业,加强国家信息基础设施建设,规划构建中国的“数字地球”,对于我国保持经济持续快速增长,增强综合国力和国家安全,全面建设小康社会具有战略意义。

所谓“数字地球”,即一种可以嵌入海量地理数据的、多分辨率的和三维的地球表示,可以添加许多与我们所处的星球有关的数据。从而在全球范围内,更广泛、更深入、更有效、更经济地为全社会提供服务。“数字地球”涉及的相关的基础理论、高技术非常广泛,地理信息科学 GIS、网络技术和虚拟现实技术等为核心技术。其中虚拟现实技术,是对传统 GIS 可视化、可视化分析、仿真模拟技术体系的创新,是利用地理信息数据对现实世界淋漓尽致的表达,因而可以使用户沉浸在虚拟地球环境之中,从多角度、多层次,真

实地去感受和理解地球环境并进行分析和模拟<sup>[1,8]</sup>。我国的水土流失面积广,类型多,危害严重,治理难度大,因此采用遥感等高新技术对水土流失进行考察、研究、规划、动态监测与管理,具有重要意义。“数字地球”、“数字流域”概念和可视化技术、虚拟现实技术的发展,为水土流失治理和监测提供了全新的技术平台和发展空间。现代 3S 技术即 RS(遥感)、GIS(地理信息系统)、GPS(全球定位系统)与全数字摄影测量技术的高度发展,为人们高质量地获取小流域数字景观信息提供了有效的手段。“4D”技术即 DEM(数字高程模型)、DOQ(数字正射影像)、DRG(数字栅格地图)、DLG/DTL(数字专题图)作为 3S 技术集成而生成的高精度数字化可视产品,正发展成为地学数字化产品的基本模式。因此以 3S 技术、4D 技术、全数字摄影测量技术获取高精度的小流域数字景观信息,用虚拟现实技术模拟小流域自然景观及人类与环境对小流域环境的作用与影响,这对土地利用现状评价,水土保持规划,水土保持动态监测、水土流失综合治理

收稿日期:2003-08-16

修回日期:2003-09-02

资助项目:“十五”国家科技攻关重大项目课题“半干旱退化山区生态农业建设技术与示范”(2001BA606A-04)

作者简介:李世华(1977-),男(汉族),助教,硕士,主要从事遥感和地理信息系统方面的教学和科研工作。E-mail:lshsx@sina.com。

决策等都具有很重要的意义,为此我们在国家科技攻关黄土高原安塞纸纺沟试区开展了小流域景观虚拟现实技术应用研究。

## 1 虚拟现实技术概述

虚拟现实(Virtual Reality,简称VR,又译作灵镜)技术是一个由图像技术、传感器技术、计算机技术、网络技术以及人机对话技术相结合的产物,它以计算机技术为基础并综合利用了计算机的立体视觉、触觉反馈、虚拟立体声等技术,高度逼真地模拟人在自然环境中的视、听、动等行为的人工虚拟环境。这种虚拟环境是通过计算机生成的一种环境,它既可是真实世界的模拟体现,也可以是构想中的世界<sup>[1]</sup>。

虚拟现实技术的基本特征是:“沉浸感”(Immersion)、“交互性”(Interaction)和“构想”(Imagination)。沉浸感是利用了人类的错觉,使人们暂时忘记了真实的客观世界,而全身心地“浸入”到计算机所产生的虚拟的世界中去。交互性是指作为观察者的人作为虚拟世界的组成部分,可以与虚拟环境相互作用、相互影响。构想是指通过用户沉浸在“真实的”虚拟环境中,与虚拟环境进行了各种交互作用,从而可以深化概念,萌发新意,产生认识上的飞跃。人具有很强的在三维空间中进行形象思维及逻辑推断的能力,而计算机具有很强的计算及储存能力。虚拟现实技术把计算机收集或产生的数据经过可视化及三维建模处理,变成人们所熟悉的直观三维对象,从而结合计算机与人的智能及各种自然技能来处理数据,进行判断和决策。

虚拟现实是20世纪末发展起来的以计算机技术为核心,集多学科高新技术为一体的综合集成技术,它是人与计算机通信的最自然的手段,是人类的自然技能与计算机的完美结合,将从根本上改变人与计算机系统的交互操作方式,有着广阔的应用前景。虚拟现实技术现已开始应用于军事模拟训练、危险环境及远程环境下的操作、科学感知、教育培训、空间探索、城市建筑规划、虚拟旅游、娱乐购物、计算机辅助设计与制造等。为此我们将虚拟现实技术应用用于水土保持领域。

## 2 研究区域概况

该流域位于陕北中部,属典型的黄土高原丘陵沟壑区第二副区,其地理位置在东经 $109^{\circ}13'16''$ ,北纬 $36^{\circ}42'46''$ ,流域面积 $8.27\text{ km}^2$ ,平均海拔高程 $1200\text{ m}$ 。流域地貌沟谷密集,地面起伏频率大,其沟壑密度高 $8.06\text{ km}^2/\text{km}^2$ ,上下游沟床高差 $210\text{ m}$ ,平

均纵比降 $37\%$ ,梁峁顶与沟谷高差多在 $150\sim 200\text{ m}$ 。试区内外有四等三角点2个,四等水准点一个, $1:1$ 万地形图与 $1:3.5$ 万彩色红外航片等基础资料。

## 3 纸纺沟流域虚拟现实实现技术<sup>[3-6]</sup>

以小流域航摄影像和地形图为基础,利用GPS精确测量地面控制点,在全数字摄影测量工作站上制作小流域高精度数字高程模型(DEM)数据和数字正射影像(DOM),在三维图形标准OpenGL标准下用Visual C++语言编写程序(三维景观重建系统)生成虚拟现实景观图,即以DEM为基础构造三维地形模型,然后用正射影像进行纹理映射即把正射影像“贴”到由DEM数据所构成的三维模型上获得小流域虚拟现实景观图。

小流域虚拟现实技术的重点研究和难点之处是具有高度真实感的虚拟三维图像的生成,其中包括三维地形的构造、纹理映射和实时动态立体显示等关键技术。几乎所有虚拟现实开发系统中的方法和工具都是遵循面向对象的原理和采用面向对象的程序设计语言和工具,其中最常用的如C++等面向对象的语言和相应的面向对象数据库、工具等。小流域景观虚拟现实系统中最核心部分是三维地形模型的生成和描述以及三维动画的制作,该模型和动画是使用专用图形处理硬件的软件接口OpenGL构造和生成的。

本次试验根据虚拟现实、地形景观的三维实现和三维可视化地理信息系统的原理及制作开发方法,设计出了小流域虚拟现实景观实现的技术方案,即通过GPS像控测量和全数字摄影测量开发出流域的数字高程模型(DEM)和数字正射影像图(DOM),在三维景观重建系统(PhotoMaps 3D)下实现小流域虚拟现实景观并进行各种分析和应用,结合GIS软件(MAPGIS)实现其在水土保持中的多种应用(图1)。

### 3.1 三维地形模型构建

构建三维地形模型的基础数据为DEM,DEM数据的复杂程度和数据规模将直接影响三维模型构建和显示效率。因此需要将DEM数据进行简化,从而加快运算和显示速度。纸纺沟流域DEM数据为规则的格网格式,其间距为 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 。该数据可以直接以起始坐标、终点坐标和每个点的高程来代替,并不会影响其精度,但存储量将会大大减少,运算速度也会加快。三维地形模型构建的主要方法为:对高程进行适当放大加强立体显示效果,选取合适视点,通过参数设置和计算进行坐标变换、投影变换等进行三维模型构建。构建模型的同时,还可以对模型进行平移、旋转、缩放等变换,从而实现各种不同模型构造。

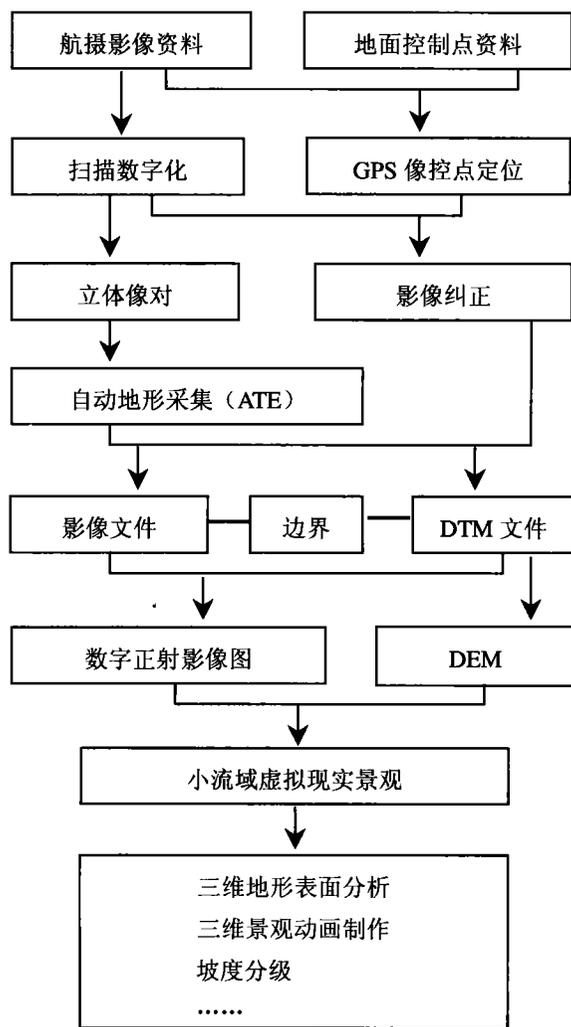


图 1 小流域虚拟现实实现技术程序

### 3.2 纹理映射

纹理映射是建立逼真三维地形景观的重要手段,利用航空像片作为纹理效果可以真实地反映地表面貌。纹理映射的关键是实现由 DEM 构建的三维地形模型与遥感影像的正确套合,使每个 DEM 格网点与其所在的影像位置一一对应。进行纸纺沟流域纹理映射的数据为流域 1:1 万正射影像,这种影像经过数字微分纠正。利用正射影像进行纹理映射可以使地面坐标和纹理坐标的关系变得相对简单。用 OpenGL 函数可以方便地实现纹理映射。

### 3.3 动态立体显示

三维立体动态显示是虚拟现实中的关键技术。由上述方法在计算机屏幕上所生成的三维地形景观图实际上是一个 2.5 维的景观图,只有在引入动态立体显示技术后,观察者才能真正感受到虚拟现实所具有的强烈的临场感和亲自控制的参与感。

OpenGL 所特有的显示列表和双缓存机制为三维景观实时动态显示提供强有力保证。通过以上技术就可开发出纸纺沟流域虚拟现实景观(图 2)。

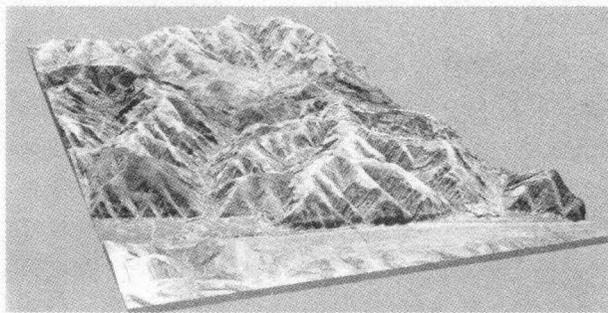


图 2 纸纺沟流域虚拟现实景观

### 3.4 虚拟现实景观的特点

小流域虚拟现实景观是对该流域地形景观的一个动态三维计算机真实模拟,它不仅包括地面的描述,而且也包括地表某些特殊地物的描述,它所包含的内容主要有:地形数据、DEM/DTM 数据、特殊地物的三维数据和影像数据等。小流域虚拟现实景观具有虚拟现实所具有的“沉浸感”、“交互性”和“构想”三个特征。小流域虚拟现实景观地表信息丰富,数字化程度高,直观性强,信息负荷大,精度高、动态性强、可视化程度高,通过该虚拟现实景观可以清楚地获得植被、梯田、沟谷、道路等地貌和土地利用现状信息。在该系统下可以实时地生成任意面积的多种三维图象和进行步行穿越模拟和飞行通过模拟,查询任意一点的三维坐标和两点之间的距离(二维状态)、进行 DTM 分析(压缩和粗差探测)、模型切换分析(旋转、角度转换、平移或缩放)、影像和 DEM 信息显示、光源设置和图像渐变等多种方式进行分析应用。

## 4 虚拟现实景观在水土保持中的应用研究与展望<sup>[7]</sup>

### 4.1 提供流域现状信息

小流域虚拟现实景观真实、直观的反映了小流域的各种现状信息,如土地利用现状信息、土壤侵蚀现状信息和植被覆盖状况等。我们可以从不同角度、不同方向、不同比例、使用不同方法(飞行模拟、旋转等)进行各种现状的查看和分析,从而很方便和清楚地知道和计算小流域的土地利用现状、植被覆盖等情况,可为水土保持规划与管理部门提供丰富现状信息。

### 4.2 三维地形表面分析

小流域虚拟现实景观反映的地表信息丰富,数字化程度高,可以进行三维地形表面的提取和分析,包括:所选查询点的地理坐标及高程值,地表距离的长

度、剖面分析等。本系统可以实时地获取流域内任意大小面积的正射晕渲影像、按高程分层设色影像、三维线画影像和三维纹理影像;并可查询二维图像上任意点的三维坐标和距离;从而可以为小流域的土壤侵蚀定量分析和预测、退耕还林还草等提供参考。

#### 4.3 三维坡度分级图的建立

坡度分级图是小流域最基本、用途最广的图种之一,地形坡度是土壤侵蚀的重要因素,正确地计算和直观的表达坡度对于水土保持研究非常重要,近年来政府加大了水土流失治理力度,实施了大面积退耕还林还草等英明决策,相应坡度的正确、直观表达将有助于这些决策的正确有力实施。以前坡度分级图均为二维平面图斑的简单表示,以二维坡度分级图为基础结合小流域虚拟现实景观技术可以开发直观易懂的三维坡度分级图。

#### 4.4 土壤侵蚀动态演变及水土流失预报模拟

土壤侵蚀研究有助于探索出水土流失机理和演变,水土流失预报正日益成为许多国家政府治理规划与决策的重要依据,制作直观、形象的计算机土壤侵蚀动态演变及水土流失预报模拟系统将对土壤侵蚀和水土保持的研究起到一定的支持和推动作用。

经过多年土壤侵蚀的研究已经积累了大量的数据,并形成了许多水土流失预报模型。如美国于20世纪60年代提出的通用土壤流失方程(USLE),于90年代初又提出了其修正模型(RUSLE),1995年发布了基于土壤侵蚀物理过程的新一代预报方程WEPP;90年代后期,荷兰学者将土壤侵蚀预报技术与GIS技术相结合,研究开发了基于GIS的空间型土壤侵蚀预报模型(LISEM);国内主要是参考USLE的思路,根据中国的观测值,计算各因子值,然后计算水土流失量,这些研究和成果可以为土壤侵蚀动态演变及水土流失预报模拟系统提供良好的数据基础和技术支持。

以虚拟现实技术为基础,采用以前的研究成果和采集大量的数据,建立合适的土壤侵蚀模拟方程(如USLE方程),并以此模拟方程为基础开发土壤侵蚀动态演变模拟系统,模拟不同的地形和降雨条件下的土壤侵蚀状况和侵蚀过程。也可以以同一区域不同年

份的土壤侵蚀状况等音像和数据资料,用GIS软件处理,将其叠加分析,可以演示出该区多年土壤侵蚀演变过程,如朔源侵蚀沟头的演变过程,重力侵蚀的作用演变过程等等。

#### 4.5 建立三维动态信息管理系统

小流域虚拟现实景观直观性强、信息负荷大、易于进行实时三维分析和处理,与地理信息系统软件相结合可以构建小流域的三维动态信息管理系统,通过输入该区的属性,可以完成对该区域的三维直观查询,也可对同一区域多年的景观图制作建立数据库进行该区的动态监测,为水土保持规划、土壤侵蚀预测提供有力依据。

#### 4.6 生态环境演变模拟

生态环境建设一直是我国重要建设项目,模拟较长时期内生态环境演变有利于生态环境的建设研究,虚拟现实技术可以直观、方便、准确地模拟生态环境重建和发展趋势。通过查阅以前的植被状况等资料把植被和建筑物等影像贴到地形表面模拟几十年甚至上百年该区的生态环境状况,也可模拟若干年后该区生态环境重建状况。

#### [参 考 文 献]

- [1] 陈述彭,郭华东. 数字地球与对地观测[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 10-14.
- [2] 汪成为,等. 灵镜(虚拟现实)技术的理论、实用及应用[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [3] 张永生. 遥感图象信息系统[M]. 北京:科学出版社, 2000.
- [4] 王峰. 用 Visual Basic 实现 OpenGL 三维地形显示[J]. 测绘信息与工程, 2000(3): 13-16.
- [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.
- [8] Al Gore. The Digital Earth: Understanding Our Planet in the 21st Century[Z]. Speech delivered at the California Science Center (CSC), Los Angeles, CA. 31 January 1998.