

# 虚拟现实技术在灌区实时仿真中的应用

陈金水, 张 季

(河海大学计算机及信息工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要** 通过分析灌区三维场景中模型的类型及其特点, 对不同类型的模型建立过程进行描述, 着重研究为实现系统实时运行所应进行的组织和管理各类模型数据的方法, 说明信息的交互方式, 以及实现系统运行的数据流程控制, 提出一个基于大量地理信息数据的简易型灌区虚拟现实系统的整体框架, 最后, 阐述了实现灌区三维场景建模所采用的技术和方法, 以及进行数据实时仿真、实时控制的实现过程。

**关键词** 虚拟现实; 灌区; 数字高程模型; 实时仿真

中图分类号: TP391.9 S27

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2005)02-0043-03

**Application of virtual reality to real-time simulation of irrigation districts**//CHEN Jin-shui, ZHANG Ji (College of Computer & Information Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

**Abstract**: Based on an analysis of the types and characteristics of models for the 3-D scene of virtual irrigation districts, a description was made of the setting-up course of various models, with emphasis placed on the method of data management for different models so as to realize the real-time operation of irrigation districts. Meanwhile, an introduction was given to the information interactive way and data control procedure for the operation of the system, and an integral framework for the simple virtual reality system of irrigation districts was put forward based on a great deal of geographical data. Finally, the key technique and method for modeling of the 3-D scene for irrigation districts and process of real-time simulation and control were expounded.

**Key words**: virtual reality; irrigation district; digital elevation model; real-time simulation

灌溉工程建筑物是水利工程设施之一, 对促进我国农业发展起着极其重要的作用。由于灌区规模大、管辖范围广, 人员技术力量薄弱, 因此, 如何实时、直观地展示灌溉工程建筑物的运行情况, 是实现灌区信息化管理、工程建设以及水资源调配的决策基础。通过三维实时仿真来表现灌溉工程建筑物的运行状态, 不仅为灌区管理提供了科学手段, 而且投资小, 因此较为经济可行。

## 1 灌区三维场景及其特点

灌区主要是通过渠道以及各种取水、分水建筑物, 如水闸和泵站等, 把灌溉用水从水源引入田间。因此, 其三维场景不仅包括灌区内的自然地形和地貌, 而且包括灌溉工程建筑物、水体以及区域内所种植的作物。显然, 灌区的三维场景中可见实体很多, 按模型种类可以简单地分为地形模型、地物模型和复杂实体模型 3 种。

地形模型主要是地形、地貌及湖泊、河流模型, 它主要是指仿真区域内地理表面的形态。虽然地形

模型相对稳定, 但是构造地形模型的数据量通常较大, 不宜一次性构建, 建立基于地形数据的自动分页和存储机制是一种常用且有效的基本方法。为地形数据构建一个存储空间, 在动态渲染过程中, 随着视点的移动不断更新数据页中的数据块, 并通过系统设置更新数据页的数据来源。

地物模型主要是一些地面文化特征景物模型, 它包括地面上的人造景观及自然景观。渠道、闸门、水库等是灌区三维场景中主要的人造地物模型。为了准确地定位这些地物模型, 需要在建模时保持其与地形模型在地理位置上的一致, 因此也需要使用动态的方式进行构建。

复杂实体模型就是一些在虚拟环境中能够自主运动(如人、动物等)或者被动(受控)运动(如闸门、水泵等)的模型。作为相对复杂的实体模型, 使用程序直接构建往往增加了程序的复杂度, 而使用 AutoCAD 以及 3DMAX 等建模工具建立模型, 则可简化程序的实现。同时, 为增强虚拟环境的真实感, 在灌区三维场景中添加能够自主运动的复杂实体模型

可以有效地改善视觉效果。

## 2 三维建模及仿真

几何建模是整个虚拟现实系统中工作量最大的一部分,应针对灌区运行仿真中不同实体对象模型的特点,使用不同的方式建模。

### 2.1 地形模型的建立与仿真

#### 2.1.1 DEM 数据采集与内插

灌区渠道的建设需要结合当地具体的地理环境,DEM的建立需要大量地形和地貌形态数据。获取 DEM 数据的方法有航片解析法和地形图数字化法,也有人利用卫星遥感图像来生成 DEM 数据。权衡性价比,灌区的 DEM 数据用等高线图(图 1(a))来生成比较合适。可以通过等高线离散化方法将等高线图转换成规则的格网数据(见图 1(b)),从而建立数字高程数据库。

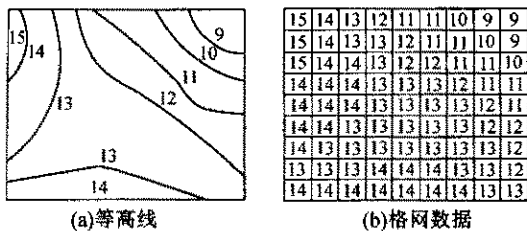


图 1 规划格网模型(单位:m)

这样形成的 DEM 原始样点的位置和密度往往不一定能满足要求,在此基础上进一步内插可以补充采样点数量和密度上的不足。由于分块内插具有兼顾整体与局部的显著优点,其中双线性内插以其算法简便、适用的特点被广泛使用,因此,对于呈方形格网分布的数据参考点则可直接用如下双线性插值公式计算:

$$Z_P = Z_A \left(1 - \frac{x}{L}\right) \left(1 - \frac{y}{L}\right) + Z_B \left(1 - \frac{y}{L}\right) \frac{x}{L} + Z_C \frac{x}{L} \frac{y}{L} + Z_D \left(1 - \frac{x}{L}\right) \frac{y}{L}$$

式中: A, B, C, D 为格网的 4 个点;  $Z_i$  为  $i$  点的高程值;  $L$  为格网边长;  $(x, y)$  为内插点  $P$  在格网内的坐标。

将内插得到的符合地形描述细节程度的 DEM 数据存入数据表中,作为地形模型建立和仿真的数据支持。同时网格点的颜色值可以通过地表纹理贴图来近似实现。

#### 2.1.2 DEM 三维可视化的实现

为了实现虚拟地形景观实时动态显示的目的,采用地形的动态生成技术是一种非常有效的方法<sup>[1]</sup>。每一帧场景的渲染数据对应计算机内存中的一个数据页,它是由若干个连续分布的地形块构成的一个存储空间。在动态渲染过程中,随着视点的移

动,不断更新数据页中的数据块,如图 2 所示。OpenGL 技术为场景渲染提供了双缓存,当一个缓存用来作图时,另一个就用来显示,这有效地解决了数据处理时带来视觉上的“延迟”现象。

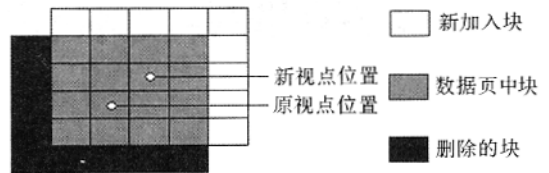


图 2 动态数据页的建立

动态显示三维实时数据的关键在于数据的管理以及在数据应用时对数据的传递。三维场景的建立需要进行数据初始化,场景的实时显示又要求在渲染的同时,通过对条件的判断保证数据能实时更新。图 3 表示动态数据处理与系统初始化和场景渲染的关系。

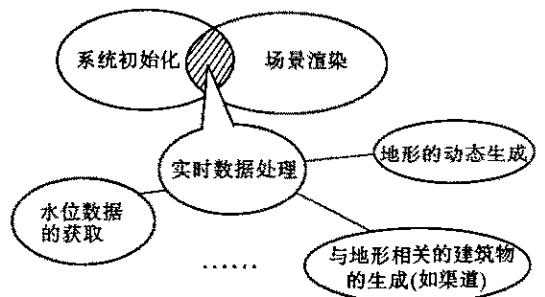


图 3 动态数据处理关系示意图

### 2.2 灌区建筑物实体模型的建立

渠道、闸门、水泵都是灌区中非常重要且具有代表性的工程建筑物。

#### 2.2.1 渠道模型的建立和仿真

渠道数据表中的数据通常是以离散点来描述渠道在原始地形上的分布情况,再使用分段线性内插由已知点求取整条渠道的分布情况。同一渠道的深度通常是一定的,而渠道侧面的坡度与其对应的地形数据是密切相关的。为了准确地将渠道定位到“真实”的地形上,首先需将离散点规格化为格网分布的数值,采用经纬度线构成的规格化网格体逼近的方法,即将插值点距离最近的 4 个点的经纬度值代入方程

$$Z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy \quad (1)$$

得到方程组

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_0 & y_0 & x_0y_0 \\ 1 & x_1 & y_1 & x_1y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & x_3y_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} z_0 \\ z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

使用 Gauss-Jordan 列主元素消元法即可解出全部系数,然后把插值点的经纬度数据代入方程(1),即可计算出相应点的渠道侧面坡高。再按已知的地形描述细节程度对规则格网进行内插。整个插值过程要保证渠道数据和地形数据的一致性。

### 2.2.2 闸门模型的建立和仿真

OpenGL 提供了简单的线、面构造函数,通过对这些简单函数的调用,可以直接在程序中建立地物模型.借助 OpenGL 提供的显示列表方法还可以简化对同一几何体的多次重新绘制.闸门具有模型简单一致的特点,在场景中也只是对其进行开启和关闭的简单控制,所以选择使用显示列表方法构建闸门模型较为适合.

### 2.2.3 水泵模型的建立和仿真

对于复杂的 3D 模型,直接使用 OpenGL 会导致工作量过大,所以对复杂的 3D 模型可以使用 AutoCAD 以及 3DMAX 等建模工具建立模型,然后通过编程或其他工具将模型导入场景,这样可以大幅度地缩短复杂物体建模的时间.在灌区运行仿真中,水泵等物体模型相对复杂,使用 3DMAX 进行建模,然后消除模型的冗余面并导入场景进行程序控制.

### 2.3 水流模型的仿真

依据 DEM 的格网方式求取给定水位条件下的水流漫过渠道坡面的淹没区时,应当区分两种情况<sup>[2]</sup>:①闸门打开,高水位水流注入渠道时,淹没区的水位计算;②降雨对水位的影响.

水流格网蔓延算法是一种基于特征点空间属性的扩散探测算法,其核心思想是选择一个源点作为对象,赋予特定的属性,如高程等.在某一平面区域上沿 4 个(或 8 个)方向游动扩散,求取满足给定条件、符合数据采集分析精度,且具有连通关联分布的格网点的集合.在使用水流格网蔓延算法时源点的起始位置一般选在闸门下游处,因为水位的抬高蔓延是从闸门处开始,逐渐向下游产生新的淹没区.然后,判断是否将闸门的提升高度计入闸门所覆盖的高程网格单元中.最后,将满足条件的连通关联淹没点存入缓存区(数组),并不断进行累加,使淹没区域不断扩大……这样就使得满足水位条件且与源点具备连通关联性的网格单元计入集合区内.格网点的扩散累积形式如图 4 所示,算法流程如图 5 所示.

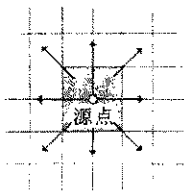


图 4 源点扩散积累方式

降水引起的水位变化不涉及到源点的选择及闸门是否开启的判断,只是将雨量值与水位累加后,生成新的淹没范围.

使用动态贴图的方法实现水流波动的模拟,同时对纹理进行透明处理,可以更好地实现水流的模

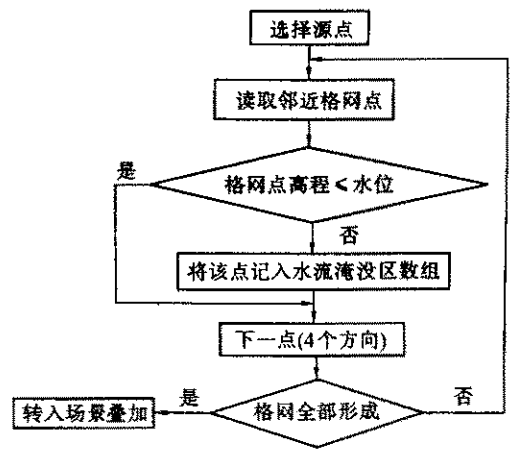


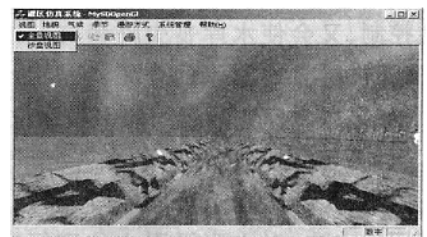
图 5 格网点蔓延算法流程

拟.但这只是一个求取水流淹没区的近似方法,更精确的水流淹没区计算还需考虑淹没过程的水动力学特性和流态所引起的水面波动等问题,虽然计算结果精确,但计算模型非常复杂,需耗费大量时间.

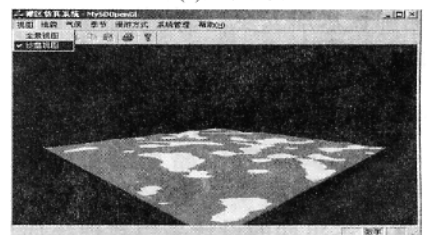
## 3 软件的实现

除地形数据使用等高线图直接获取外,控制水位的雨量、流量等数据则使用实时数据采集器来获取.采集到的数据通过接口程序完成数据的转换,然后将其存入数据表中.渠道、闸门等与地理位置相关的数据是通过对数据的组织和管理实现数据更新的.

用 Visual C++ 作为系统开发的语言基础,以 OpenGL 作为系统开发的前端开发工具,以 SQL Server 数据库管理系统作为数据库应用的全面支持,并使用 ADO (Active X Data Objects) 技术实现人机交互和数据库操作. AutoCAD 以及 3DMAX 等建模工具用于复杂外部模型建立.图 6(a)为系统在全景视图中渠道和部分自然景观叠加后的实现例子,图 6(b)为渠道所在区域的原始地形和地貌的三维场景.



(a)全景视图



(b)沙盘视图

图 6 系统操作界面(下转第 66 页)

特性研究 J]. 水利学报, 1999(4): 57—64.

- [14] 杨桂芳. 静力本构模型试验、参数确定及参数对计算结果的影响分析 D]. 成都: 四川大学, 1999.
- [15] 谢定义. 土动力学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988.
- [16] 吴世明. 土动力学 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [17] Bobby O H, Vincent P D. Shear modulus and damping in soils: measurement and parameter effects [J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1972, 98 (SM6): 603—624.
- [18] 吴世明, 徐攸在. 土动力学现状与发展 [J]. 岩土工程学报, 1998, 20(3): 125—130.
- [19] 汪闻韶. 往返荷载下饱和砂土的强度、液化和破坏问题 [J]. 水利学报, 1980(1): 14—26.
- [20] 许才军, 周红波. 不排水循环荷载作用下饱和软粘土的孔压增长模型 [J]. 勘察科学技术, 1998(1): 3—7.
- [21] 汪闻韶. 土的动力强度和液化特性 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [22] 张建民, 谢定义. 饱和砂土本构理论的研究进展 [J]. 力学进展, 1994, 24(2): 187—205.
- [23] 谢定义. 饱和砂土体液化的若干问题 [J]. 岩土工程学报, 1992, 14(3): 90—98.
- [24] 邵生俊, 谢定义. 饱和砂土的动强度及破坏准则 [J]. 岩土工程学报, 1991, 13(1): 24—33.
- [25] SDS01-79, 土工试验规程 [S].
- [26] SL237-1999, 土工试验规程 [S].
- [27] The Committee on Soil Dynamics of Geotechnical Engineering

Division, ASCE. Definition of terms related to liquefaction [J]. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1979, 104(GT9): 1197—1200.

- [28] Casagrande A. Characteristics of cohesionless soils affecting the stability of slopes and earthfills [J]. Journal of the Boston Society of Civil Engineers, 1936, 23(1): 257—276.
- [29] Castro G. Liquefaction and cyclic mobility of saturated sands [J]. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1975, 101(6): 551—569.
- [30] Poulos S J, Castro G, France J W. Liquefaction evaluation procedure [J]. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1985, 111(6): 772—791.
- [31] Castro G, Seed R B, Keller T O, et al. Steady-state strength analysis of Lower San Fernando dam slide [J]. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1992, 118(3): 406—427.
- [32] Ishihara K. Liquefaction and flow failure during earthquakes [J]. Geotechnique, 1993, 43(3): 351—415.
- [33] Bazier M H, Dobry R. Residual strength and large-deformation potential of loose silty sands [J]. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1995, 121(12): 896—906.
- [34] Lee K L, Seed H B. Cyclic stress conditions causing liquefaction of sand [J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1967, 93(SM1): 47—70.
- [35] 刘汉龙, 余湘娟. 土动力学与岩土地震工程研究进展 [J]. 河海大学学报(自然科学版), 1999, 27(1): 6—15.

(收稿日期 2004-09-06 编辑 高建群)

(上接第 22 页)

- [14] 徐士良. FORTRAN 常用算法程序集 [M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 1995. 501—511.
- [15] Al-Sheriadeh M S, Barakat S A, Shawagfeh M S. Application of a decision making analysis to evaluate direct recharging of an unconfined aquifer in Jordan [J]. Water Resources Management, 1999, 13(4): 233—252.
- [16] Srivastava K, Rai S N, Singh R N. Modeling water-table fluctuations in a sloping aquifer with random hydraulic conductivity [J]. Environmental Geology, 2002, 41(5): 520—524.
- [17] Hunt A G. An explicit derivation of an exponential dependence of the hydraulic conductivity on relative saturation [J]. Advances in Water Resources, 2004, 27(2): 197—201.
- [18] Freeze R A. A stochastic-conceptual analysis of one-dimensional groundwater flow in nonuniform homogeneous media [J]. Water Resources Research, 1975, 11(5): 725—741.

(收稿日期 2004-05-25 编辑 高建群)

(上接第 45 页)

## 4 结语

虚拟现实技术是一种全新的信息处理方式,正在被广泛应用于各个领域,它对仿真环境的改善将起重大作用<sup>[3]</sup>.使用这一技术实现的灌区虚拟现实系统为灌区建设的决策提供形象可靠的依据,为灌区提供了科学的管理手段.目前,全国大型灌区的建设作为国家试点项目,已先后在十几个省市建立试点.灌区虚拟现实系统的建设还有待进一步完善.

## 参考文献:

- [1] 钟正, 朱庆. 一种基于海量数据库的 DEM 动态可视化方法 [J]. 海洋测绘, 2003, 23(2): 10—19.
- [2] 刘仁义, 刘南. 基于 GIS 技术的淹没区确定方法及虚拟现实表达 [J]. 浙江大学学报, 2002, 29(5): 573—576.
- [3] 张续红, 苏建明, 胡庆夕. 虚拟现实技术在城市规划仿真中的应用 [J]. 计算机仿真, 2003, 20(7): 75—77.

(收稿日期 2004-08-30 编辑 高建群)