

三维图形学和虚拟现实在 决策支持系统中的应用

朱 玄^{1,2} Arthur. E. Mynett^{1,2,3,4}

(1. 联合国教科文组织国际水管理学院; 2. 德尔伏特水力学所;
3. 德尔伏特理工大学; 4. 中国科学院生态环境系统研究中心)

摘要:以 GIS 数据为基础,采用 VC++ 结合 OpenGL 图形库的可视化开发环境建立了三维地形可视化系统。系统功能包括使用三角剖分算法将 DEM 数据以三维方式显示地形;使用纹理贴图技术以达到更真实地显示细节效果;支持人机交互功能,使用户可以在虚拟场景中漫游;支持三维空间坐标查询功能。通过控制图片的透明度实现多时期变化的动态显示,以帮助决策者更直观地了解变化过程。此系统通过对黄河三角洲的地形模拟和土地利用变化的动态显示,更好地展现三角洲的演变规律。

关键词:DEM 三维地形 OpenGL 三维空间查询

1 引言

“海量”和“实时”是水利领域的数据特点,这些数据是决策支持的基础。决策者必须根据这些数据来制定各种方案解决洪水控制、流域管理等问题。如何从大量数据中还原它们的物理面貌,并以一种直观的方式展现给决策者成为了一个重要的课题。随着科学技术的发展,特别是计算机图形图像学的迅猛发展,计算机三维建模为人们提供了一个很好的解决数据可视化问题的方法。当前,水资源分配的实时数据展现还停留在数字和二维图表的阶段,缺乏直观性和完整性。三维仿真系统的直观,完整和时间连续性,可以很好地解决这样的问题,面对生动的三维模型,没有专业背景知识的决策者可以快速地了解复杂数据背后的物理表象,缩短做决定的时间,这样在一些对时间要求非常敏感的问题,如抗洪抢险等,还可以节约宝贵的时间。三维地形建模是水利三维仿真的基础,准确地模拟出观察区域的地形,并让用户可以在其中漫游,可以有效地提供一个高效的工作平台供决策者了解这一地区,并作为辅助决策的工具。在黄河三角洲的决策支持系统中,一个重要的目标就是让决策者能更好地了解黄河的演变规律,并且帮助决策者更好地预测未来可能发生的情况。当决策者能很直观地看

见这些变化,并且得到很清晰的解释为什么这样的现象会发生时,他们能更快地做出正确的决定。黄河三角洲的决策者支持系统必须就三角洲的演变历史帮助决策者建立一个清晰直观的印象,以便于他们对三角洲的未来做出正确的治理方案。三维地形建模系统是从底层开始,以 VC++ 为开发平台结合 OpenGL 库开发出来的三维仿真系统。根据 DEM 数据还原三维地形的原貌,动态展示各个时期的变化,并支持人机交互。

2 数据准备

2.1 DEM 数据

当人们想对某一区域地形进行建模时必须要有对每个采样点的高程信息,当采样点越多越密的时候,人们可以真实地还原地貌而不必担心扭曲变形问题。但是在现实中我们不能对研究区域的每一个点进行采样,所以如何选取采样点在地形模拟中是非常重要的。通常的解决方法是按照网格形式来选取采样点,采样间距有 1 m,处理 10 m 或 1 000 m。根据这些点,人们可以方便地获取地形信息。ASCII 码的 DEM 数据是比较普遍并且简单的格式。格式包括两部分:头文件和数据。在头文件中包含了网格大小和位置信息,在数据部分,高程数据从最北的那一行按从左到右的顺序排列。以下是头文件示例:

```
ncols 10
nrows 8
xllcorner 637 500.000
yllcorner 206 000.000
cellsize 500.000
NODATA_value -9 999
```

前两行表明了网格的大小;第三、四行表明了网格是从底边的左端开始展开;第五行表明了网格的大小;最后一行表示数据缺失时的数字显示。ASCII 码格式的数据是三维地形建模系统的输入格式。不同格式的 DEM 数据可以从 ArcGIS 中转化为 ASCII 码格式。

2.2 纹理贴图

纹理贴图是指用来放在虚拟的三维地形上的图片文件,就好比在地面上贴上图片一样,以表示更多的地面信息。在三维地形建模系统中,有两种方式的纹理贴图案。

2.2.1 分析数据贴图

此组贴图是一系列的 2D 图像,是经过模型运算后的输出图像。例如,从 ArcGIS 中输出的土地利用图或是经过处理的遥感图像。总之,任何 2D 的图像经配准后均可作为纹理图像渲染在虚拟的 3D 地形表面。

2.2.2 基于高度纹理贴图

在系统中,每一个网格点的高度信息可以保存在计算机的缓存里。基于 OpenGL 的深度检测功能,每一点的高度信息可以被读取并且分类。因此,不同高度的不同纹理图像可以被指定并且渲染。例如,最大高度的 20% 是水,我们可以把代表水的纹理图像加在地形上。因此,最大高度 20% 以下就为水层。这一方法可以用于洪水演进模拟。

3 系统结构

如图 1 所示,首先,数字高程模型的数据应该被输入并还原为 3D 地表,同时,代表区域不同时期的不同纹理图像也应该按时序准备完全。其次,纹理图像被渲染于 3D 的地形表面以产生不同时期的不同 3D 地形图。接着,漫游功能被加入到 3D 地形图中,帮助用户实现使用键盘和鼠标对 3D 地形图进行放大,缩小、旋转和平移操作,以实现人机交互功能。最后,不同时期的 3D 地形图在图像变换技术的使用下实现动态变化。

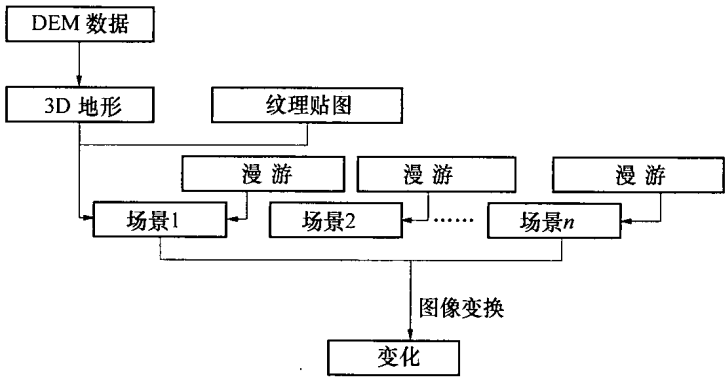


图 1 系统流程图

3.1 数据输入

这部分功能实现 DEM 数据的输入,如上所述,输入的数据应先被整理成地形网格的格式。步骤如图 2 所示。

- (1)“读取头文件”表明系统读取 DEM 数据的头文件,以获取网格信息。
- (2)“调整单位”表示统一不同的坐标单位到“米”。例如,当网格数据的空间坐标单位是度的时候,系统将其换算到“米”。所以,当原始数据的单位不是“米”的时候,我们赋予它的 cellsize 小于 1.0。当然这样的换算不是非常精准,会引起一定的误差,所以输入的 DEM 数据最好使用以“米”为单位的投影系统。
- (3)“调整坐标”表示把 3D 地形模型调整到屏幕的中央。此步骤是在读取 DEM 数据时完成的。

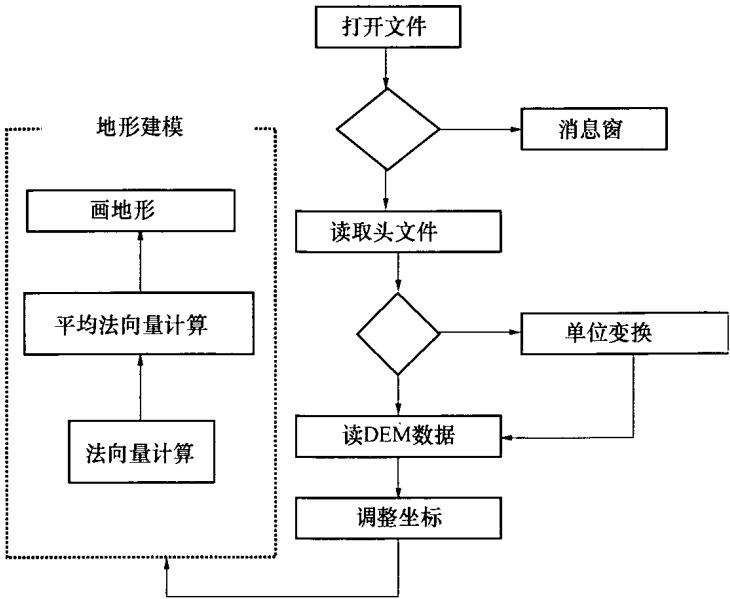


图2 数据输入

3.2 地形建模

这部分包含3个主要部分:法向量计算、平均法向量计算和地形渲染。前两个步骤是用于调整光线的正确反射规律以使虚拟3D地形给出真实的光影效果。在3D地形建模系统中,OpenGL函数:GL_TRIANGLE_STRIP被用于勾画一系列的三角形以便将单个网格剖分为两个三角形,用于拟合地表的曲面。此函数以逆时针方向连接三角形的顶点,当下一个三角形的一个顶点被指定时,此函数会自动勾画下一个三角形。此函数的特点是可以节约大量的时间,在本系统中,此函数是在双重循环中实现以历遍整个网格。步骤如图3所示。

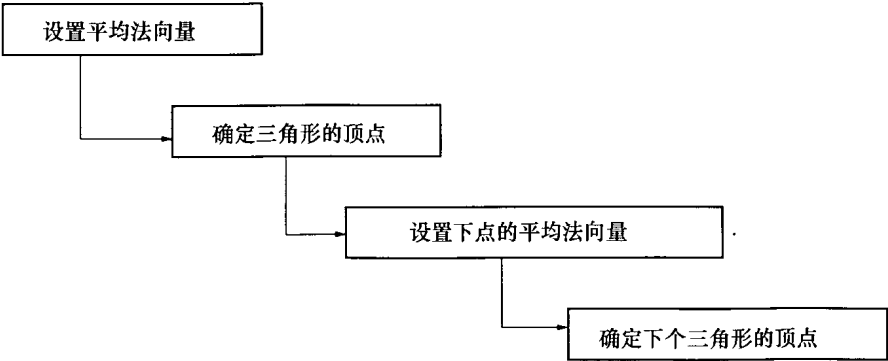


图3 地形建模

当所有的三角形勾画完毕,整个地表可以被模拟出来,图4展示了在三维空间中的三角剖分状态。

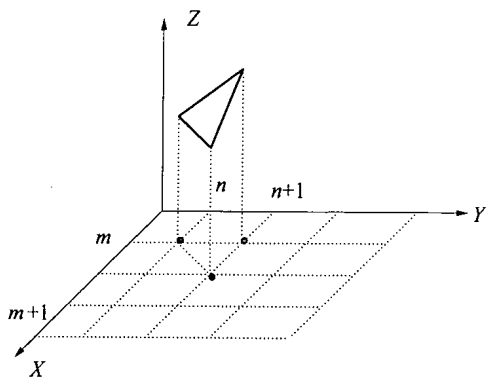


图 4 三角剖分

3.3 纹理映射

把普通图像文件转化为纹理文件以便被计算机所识别的关键技术是定义此图像的属性。例如:高度、宽度、图像文件的格式和纹理的坐标。纹理映射在 OpenGL 中的步骤如下。

3.3.1 定义纹理文件

纹理文件的属性需要在计算机识别之前进行定义,例如:纹理文件是 1D 或是 2D,图像的高度、宽度等。有 6 种图像格式可以被系统识别:TGA、TIF、BMP、GIF、PCX、PNG。在这个步骤中,图像属性包括宽度、高度、颜色深度被系统识别。

3.3.2 纹理滤波

总的来说,纹理文件基本上是以矩形的形式存在的,但是要将它们贴到曲面或多边形表面并转化坐标为屏幕坐标时,texels(纹理图像的像素)很难与图像的像素相匹配。纹理滤波的作用是以 texels 为依据确定纹理映射后屏幕上的像素。最快的方法是每个像素使用一个 texel,线形插值法也经常使用,在此系统中,我们使用最近的 texels 的颜色值定义屏幕像素。

3.3.3 定义映射方式

在此步骤中,纹理图像的颜色和被贴物体表面的颜色的混合方式被指定以便获得正确的纹理映射结果。

3.3.4 渲染场景

在此步骤中,纹理图像的坐标和物体的坐标被配准,以便纹理图像正确地贴附到物体表面,接着,渲染场景以得到三维地表的图像文件输出。

3.4 GIS 空间查询

在三维空间中进行 GIS 查询的关键技术是确定鼠标所选取的物体。这项功能可以由 OpenGL 的函数 gluPickMatrix(GLdouble x, GLdouble y, GLdouble delx, GLdouble dely, GLint * viewport)实现。

x,y:确定选取范围的中心。

delx, dely: 确定在窗口坐标下选取区域的宽度和高度。

viewport: 确定当前的视口。

例如: 当鼠标点下, 一个小区域将被确定, 如果在这个小区域中有点包含所需信息, 它将被选中并保存在缓存中等待输出。根据鼠标选取, 系统将找出用户所选取的点并输出相应的 GIS 信息。输出效果如图 5 所示。

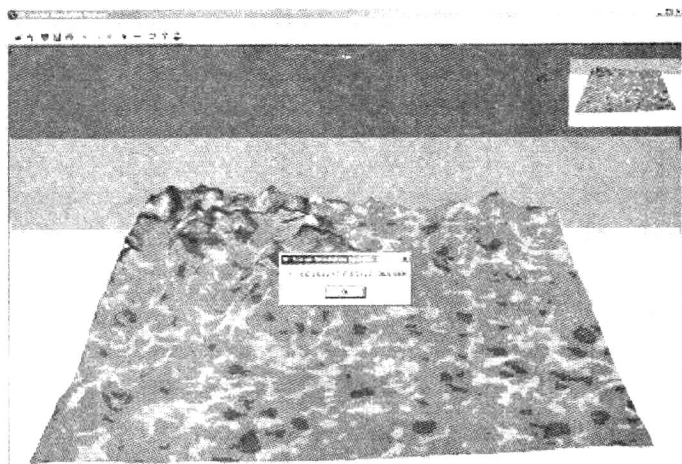


图 5 坐标查询

系统可以计算出两点之间的距离, 鼠标点击选取两点, 应用两点之间的距离公式计算距离, 公式表示如下:

$$d_{i,i+1} = \sqrt{[(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 + (z_i - z_{i+1})^2]^2}$$

$d_{i,i+1}$ 表示从点 i 到点 $i+1$ 之间的距离。输出结果如图 6 所示。

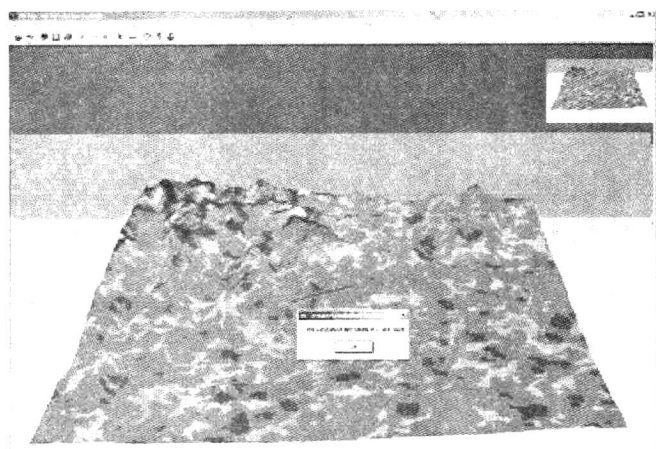


图 6 距离查询

3.5 动态变化

这部分的功能旨在显示不同时期的变化,并且将它们连成动态显示结果以便帮助用户直观地了解变化的发生和位置。此功能帮助决策者在时间的维度上驰骋,看到区域的历史、现在和未来。此部分借助图像变形技术,利用函数 AlphaBlend 轻松控制图像的透明度,以实现控制两幅图像间的变换。

3.6 人机交互

这部分功能帮助用户使用键盘和鼠标实现对虚拟三维地形的控制,他们可以旋转、放大、平移地形以获取多角度观察。OpenGL 提供包括视口变换和投影变换以帮助实现对地形的控制。

4 实例

4.1 研究区域

黄河湿地三角洲(图 7)是系 1855 年黄河铜瓦厢决口改道夺大清河入渤海

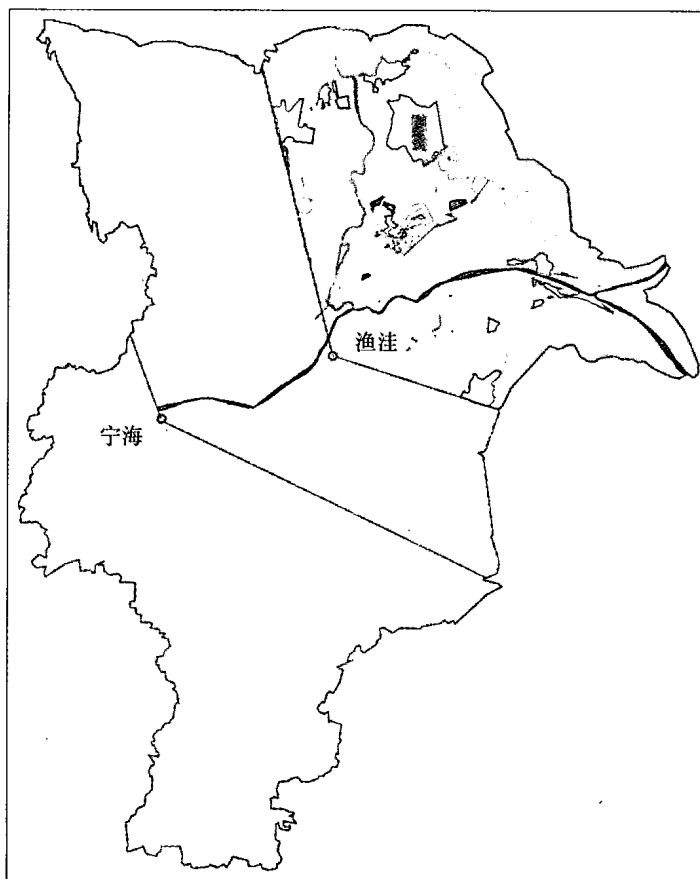


图 7 黄河三角洲

以来,入海流路改道摆动曾流经的范围和所塑造的冲积平原。它坐落在山东省以北,这一区域介于东经 118°10′~119°15′、北纬 37°15′~38°10′之间。根据不同时期和地质条件,黄河三角洲被划分为老三角洲和新三角洲。本文将以新三角洲为研究对象,新三角洲是指以渔洼为顶点,北起河口,南到宋春荣沟,是一扇形区域,陆上面积大约 2 400 km²。重要的是,这部分区域是人为地改变黄河出海口的方向以帮助发展河口的经济,保护农田和有效地进行洪水控制。

4.2 输入数据

输入的数据被分为两部分:DEM 数据和纹理数据。

4.2.1 DEM 数据

此数据是从黄河水利委员会收集来的,具体属性如表 1、图 8 所示。

表 1 DEM 数据

坐标系统		WGS_1984_UTM_ZONE_50N
分辨率		90 m
坐标		NO DATA
ASCII	列	2 401
	行	1 841

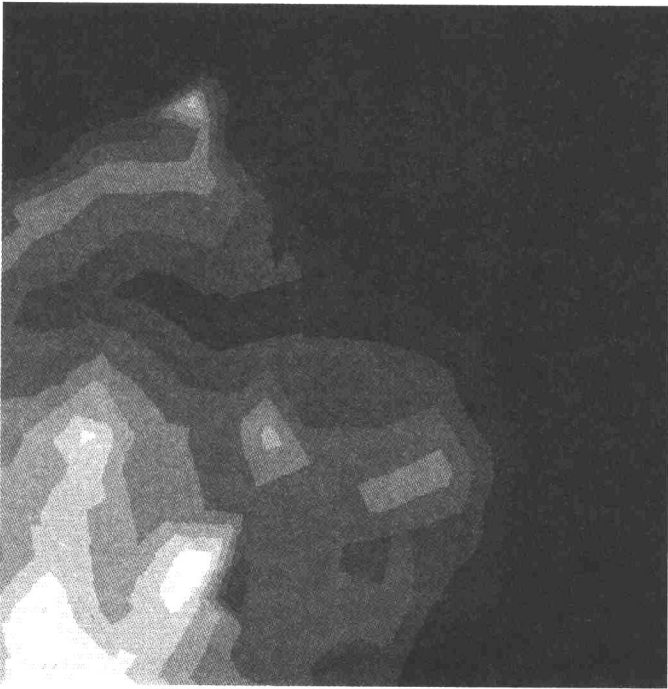


图 8 DEM 灰度图

4.2.2 纹理数据

在此实例中的纹理数据是土地利用分布图,分别是1986年、1996年、2001年和未来的预测图。未来的土地利用图被分为两种情况:干旱季和规律洪水泛滥季。根据黄河水利委员会对黄河治理的规定:对黄河三角洲的给水量将控制在20亿 m^3 左右,当水量小于16亿 m^3 时,此时期被称为干旱时期。通过对历年平均来水量的统计,我们发现1986年的年平均来水量是16亿 m^3 左右,1996年的年平均来水量是19亿 m^3 。基于这两年的情况,我们对未来在干旱和规律洪水泛滥季的土地利用变化进行了预测,并关注的是树林和沿河口植被的变化情况。如图9~图11所示。



图9 纹理文件

(1)未来,干旱季节。



图10 未来土地利用图

(2)规律洪水泛滥季节。

4.3 结果

在MOVIE MAKER的帮助下,两段动画将被生成以展现这四个时期的动态变化过程。一个是展现从1986年到干旱未来的变化,一个是展现1986年到规律洪水泛滥季节的变化。从动画中,决策者可以清楚地看到土地利用的变化,并了解变化的原因。在3DS MAX的帮助下,这两段动画可以作为纹理文件贴附到



图 11 未来土地利用图

三维地形的表面,并且输出为 AVI 格式的电影文件。根据直观的电影文件,决策者可以清楚地发现变化趋势,并在专家的解说下了解各种方案的可行性和对未来的影响。在这个实例中,由于黄河的洪水使得清水可以供给湿地三角洲以支持其上的植被生长,特别是沿河边生长的植物,因此树林和苇草的面积(分别以深绿和粉红表示),可以在规律洪水泛滥的时候很好的增长。然而,当干旱发生时,清水不能很好地供给植被,海水侵蚀,它们的面积将减少。

图 12 展现了有纹理映射的三维虚拟的地形,此纹理是航拍图像配准后叠加到地形表面的。从图 12 中我们可以看出黄河三角洲的三维图像,并且用户可以在其中使用键盘和鼠标进行漫游。

5 结论

(1)计算机图像处理在水利系统中的应用可以帮助科学家们展现复杂模型运算的结果。通过科学数据可视化,决策者可以很直观且准确地捕捉到变化结果,可以帮助他们消化从模型运算得到的信息并转换成知识来更好的认识物理世界,解决问题,制定方案。可视化的应用将以四维的形式(空间 + 时间),将帮助人们回顾历史,展望未来。

(2)OpenGL 图形库的使用可以实现在三维空间中的 GIS 查询,这表明三维空间分析可以在虚拟地形平台上进行。例如,坐标查询、距离和坡度查询可以帮助人们实现更多的研究工作。

(3)人机交互在科学数据可视化中是十分重要的。在此系统中的人机互动表示放大/缩小、平移和旋转,这可以帮助用户从各个角度了解研究区域。然而,更高层次的人机交互可以实现人们对模型参数的修改并实时地显示结果。通过对模型的人机交互,人们可以发现各个参数在模型中的敏感性和作用。在水信

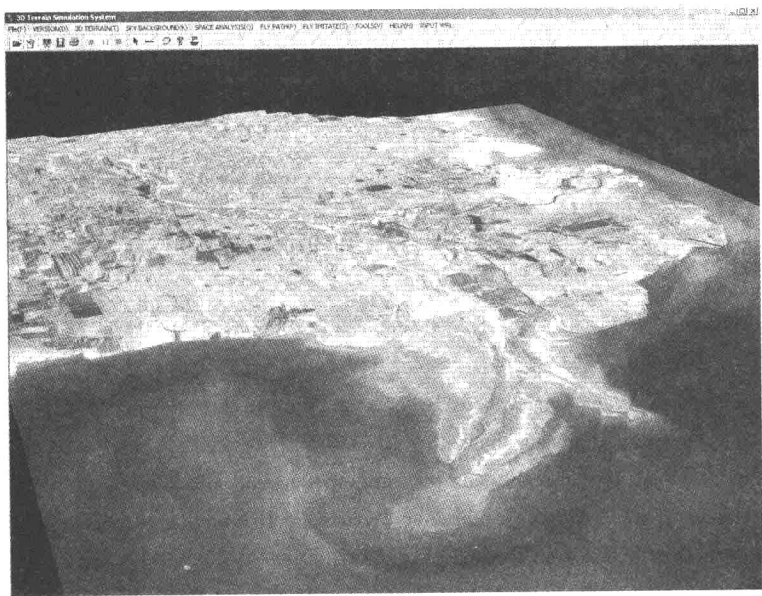


图 12 黄河三角洲三维虚拟地形

息学中,模型结果的可视化可以将复杂的物理现象用一种更直观的方式展现,以便人们发展对模型结果的认知。

(4)虚拟现实技术是数据可视化的一把利器,它给予人们一个全新的视角帮助人们认识和探索三维世界。它强调了视觉在人类认知过程中的重要性。在虚拟现实,人类就是核心,我们可以改变虚拟的现实以审视人类作用的影响。更重要的是,这样做对现实的世界不会造成任何有害的影响。

参 考 文 献

[1] Bian Haihong. 3D visualization in the hydraulics area[M]. 2004.

[2] Chandra. B. Object Oriented Programming Using (second edition)[M]. 2002.

[3] Eckel Bruce. Thinking in C++[M]. 1995.

[4] Germs Rick, Gert van Maren, Edward Verbree, Frederik W. Jansen. A multi-view VR interface for 3D GIS[M]. 1999.

[5] Meng Jiaojiao, Wu Wenbo. The realization of navigation into a 3D landscape (Base on the technique of ERDAS IMAGINE).

[6] Zhang Junxia. 3D terrain visualization and real-time browse[M]. 2002.

[7] Jia Zhigang. OpenGL Programming: Introduction and Improvement[M]. 1999.

[8] Kamat. Vineet R, M. ASCE, and Julio C. Martinez, M. ASCE. Large-scale Dynamic Terrain in Three-Dimensional Construction Process Visualization[M]. 2005.

- [9] Kraak Menno – Jan, Smets Gerda and Sidjanin Predrag. Virtual reality, the new 3D interface for geographical information system.
- [10] Koutek Michal. Scientific Visualization in Virtual Reality: Interaction Techniques and Application Development (PhD thesis) [M]. 2003.
- [11] Mynett A E. Environmental Hydroinformatics; the way ahead; Proceedings 5th Int. Conf. on Hydroinformatics[J]. Vol. 1 , pp 31 – 36, IWA Publishing, Cardiff, UK, July 2002.
- [12] Qiao Qiao. GIS 3D simulation system [EB/OL]. [http: // www. qqread. com/vc/t202184. html](http://www.qqread.com/vc/t202184.html). 2006.
- [13] Toru Ishida, Jun – ichi Akahani. Digital City Kyoto: Towards a Social Information [M]. 1999.
- [14] WangJunliang, Wang Tong, Zhang Jiyong, etc. Study on the construction and application of 3D visualization platform for the Yellow River Basin [M]. 2006.
- [15] Whyte Jennifer. Virtual reality and the built environment [M]. 2002.
- [16] XinHaixia. Real – Time Visualization Technology Research and Implementation to 3D Riverbed Terrain Based on OpenGL [M]. 2005.
- [17] Zhu Xuan. 3D Graphics and Virtual Reality Applications in Decision Support System (Msc thesis) [M]. 2007.

作者: [朱玄, Arthur. E. Mynett](#)

作者单位: [朱玄\(联合国教科文组织国际水管理学院 德尔伏特水力学所\)](#), [Arthur. E. Mynett\(联合国教科文组织国际水管理学院 德尔伏特水力学所 德尔伏特理工大学 中国科学院生态环境系统研究中心\)](#)

本文读者也读过(10条)

1. [周杨, 谭兵, 徐青](#) [基于3维地形图的空间分析算法](#)[期刊论文]-[测绘学院学报](#)2001, 18(1)
2. [林勇, 魏海平, 刘玉峰](#) [OpenGL技术及地形三维可视化](#)[会议论文]-2005
3. [刘海飞, 臧德彦, LIU Hai-fei, ZANG De-yan](#) [基于OpenGL的虚拟地表系统的实现](#)[期刊论文]-[测绘与空间地理信息](#)2005, 28(5)
4. [邹学忠, 黄健, 赵小祥](#) [DEM数据的获取方法](#)[会议论文]-2007
5. [杨大贵, YANG Dagui](#) [实用化小型DEM系统设计与开发](#)[期刊论文]-[地理空间信息](#)2010, 08(5)
6. [郭珊, 何政伟, GUO Shan, HE Zhengwei](#) [三维真实感地形建模与可视化](#)[期刊论文]-[地理空间信息](#)2009, 7(4)
7. [吕恒, 江南](#) [基于OpenGL和地形图支撑下的地形三维显示](#)[期刊论文]-[计算机工程](#)2004, 30(7)
8. [赵耀红, 史晓峰](#) [DEM在OpenGL中的三维显示](#)[期刊论文]-[现代情报](#)2003, 23(11)
9. [张东林, 李海军, 何凤良, ZHANG Dong-lin, LI Hai-jun, HE Feng-liang](#) [浅谈OpenGL在地理3维可视化中的应用](#)[期刊论文]-[测绘与空间地理信息](#)2008, 31(2)
10. [徐亮, 陈建勋, Xu Liang, Chen Jianxun](#) [利用OpenGL实现矿山三维地形显示](#)[期刊论文]-[计算机与数字工程](#)2006, 34(4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_6549116.aspx