

地下水三维可视化系统 开发与应用

DIXIASHUI SANWEI KE SHIHUAXITONG KAIFA YU YINGYONG

张永波 杨 钦 等著

地质出版社

地下水三维可视化系统 开发与应用

张永波 杨 钦 叶思源 程旭学
刘瑞刚 程 丹 张俊安 刘天霸
张礼中 喻生波 阎成云 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

作者在书中对国内外地下水系统三维地质建模现状进行了系统分析,阐述了开展此项工作的实际意义和应用需求,提出了进行地下水系统三维建模方法、技术流程和过程控制;结合地下水资源调查的实际需要提出了三维地质建模软件开发的关键技术及其解决方案,详述了软件的设计和开发实践,据此实现了黑河流域地下水系统三维地质建模过程,提交相应的三维模型成果,并对今后相关工作提出了建议。

本书可作为开展地下水系统三维地质建模软件开发和建模实践的参考用书,同时亦可作为水文地质及相关专业师生的专业参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地下水三维可视化系统开发与应用 / 张永波等著. —北京:
地质出版社, 2008.10

ISBN 978-7-116-05718-0

I. 地… II. 张… III. 地下水资源—资源开发—立体描
绘—技术 IV. P641.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 099346 号

责任编辑: 杨友爱

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 82324519 (办公室); (010) 82324581 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京地大彩印厂

开 本: 787mm × 1092mm $1/_{16}$

印 张: 10

字 数: 250 千字

印 数: 1—800 册

版 次: 2008 年 10 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-05718-0

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

水是生命之源,是人类赖以生存的物质基础,也是社会持续发展不可缺少的重要自然资源。近年来,随着区域水位下降、城市地面沉降、生态环境恶化等一系列问题的日益突出,水成为制约国民经济发展的瓶颈。因此,坚持以可持续发展为原则,合理开发地下水,对水资源进行管理、规划,辅助决策成了整个社会对水文地质行业提出的新课题。

地下水资源的信息表达不仅仅是一个量上的概念,更重要的是其在空间的分布上,为进行地下水资源的计算,需要表达与之相关联的一系列空间数据信息,所有这些信息表现出了强烈的三维空间性。要对地下水进行管理、规划,就必须查明水文地质条件,也就是要对地下水及其赋存的地质结构有清晰的认识。建立一种权威的、不断更新的、区域性的、具有传承性的地下水地质结构三维可视化模型,则将有力地支持水文地质工作者对地下水运动规律的认识,同时,也为地下水的合理开采及其开采过程中的地质环境保护提供决策支持。

计算机图形学技术的不断发展,以及三维空间数据处理理论研究的不断深入,已经为我们提供了建立真三维地质模型的技术条件。利用计算机图形学及可视化技术,可将二维抽象的地质信息以三维可视化的图形效果直观形象地表达出来,建立逼真的空间立体地质模型,并任意剖切地质体,对地质体进行三维交互信息查询。这样可以更高效地描述各种地质信息,如特定区域岩性,某一区域地层的厚度等;直观有效地表达各种地质现象间的拓扑关系,如地层的接触方式等,从而迅速提高专业技术人员对地质现象的认识,提高工作效率,发挥地质资料的最大价值。同时,在三维地质模型的建立中,还会生成一系列的三角网格数据,这为后续的地下水数值模拟奠定了基础。也就是说,三维地质建模还能将水文地质工作者从繁琐的网格剖分中解放出来。

本书是基于“黑河流域地下水系统三维可视化研究”的技术成果报告编写而成的,该项目隶属于国土资源部“西北地区水资源与可持续利用”专项,是“西北干旱地区地下水勘查评价重要新技术研究及其集成应用”项目的成果,旨在研制地下水系统三维可视化软件、建立黑河流域地下水系统三维水文地质模型。本项目由中国地质科学院水文地质环境地质研究所、北京航空航天大学、甘肃省地质调查院等单位共同承担完成。除作者外,参加本项目工作的还有北京航空航天大学李吉刚、赵赢华、李江伟、李鹤,甘肃省地质调查研究院曹炳媛、屈君霞、王志强、刘海等人,中国地质科学院水文地质环境地质研究所的梁国玲、周小元等,他们为本书的顺利完成付出了辛勤的劳动。

本书阐述了水文地质三维地质模型的构建流程、软件开发的技术细节、黑河流域三维水文地质模型构建过程与三维模型成果等内容,共分为6章17节。第一章对地质体三维地质建模技术进行综合分析,详细介绍了国内外三维建模软件的开发现状,提出了水文地质工作对三维地质建模软件的专业需求和开发专门三维建模软件的意义和必要性;第二章重点介绍了三维地质建模软件需要刻画的地质现象和这些地质现状所需要的基础地质数据,提出了基础数据概化的预处理过程、三维建模的流程控制与质量控制过程;第三章介绍了三维地质建模软件开发过程中的关键技术,提出了有效构建三维可视化交互编辑显示图形平台的需求和解决方案,表述了限定 Delaunay 三角网格生成技术、地质面相互关联与切割技术、拓扑一致的地质体区块提取技术等研究成果;第四章介绍了三维地质建模软件的总体结构与技术方

案,详细论述了三维地质模型交互平台和地质体三维可视化的详细算法与实现过程;第五章介绍了黑河流域的区域地质特征、三维地质建模数据特征和预处理过程以及三维地质建模方案,详细论述了黑河流域大马营、山丹及大青阳、张掖、酒泉东、酒泉西、金塔、额济纳旗等盆地的三维地质结构特征。第六章是在进行项目工作的基础上,提出了本项研究成果和水文地质工作需求尚存在的不足,以及今后类似工作需要努力的方向。

本书是在三维地质建模工作上的一次全新尝试,在取得应用软件、黑河三维地质模型等重要成果的同时,也取得了重要的经验和教训,为今后的进一步工作奠定了良好的基础。

作者

2007年6月10日

目 次

前 言

第一章 地质三维建模技术现状与需求	1
第一节 地质体三维建模技术综述	1
一、地质体三维建模方法	1
二、三维图形可视化制作技术	3
第二节 地下水系统三维建模软件与应用现状	11
一、国外地下水三维地质建模系统开发与应用现状	11
二、国内地下水三维地质建模系统开发与应用现状	13
第三节 三维水文地质建模的需求与意义	15
一、三维地质建模的实际意义	16
二、三维水文地质建模的应用需求	16
第二章 水文地质建模方法和过程控制	19
第一节 水文地质建模中的地质现象	19
一、地貌	19
二、地层	19
三、褶皱	20
四、断裂	21
五、透镜体	21
六、侵入体和盐丘	22
第二节 刻画地质现象的相关数据	22
一、地表数字高程模型 (DEM) 数据	22
二、遥感影像数据	23
三、地表地理信息数据	23
四、平面地质图数据	23
五、钻孔数据	24
六、剖面数据	24
七、断层数据	24
八、地层等值线数据	24
九、物探数据	25
十、动态数据	25
第三节 数据概化预处理	25
一、地层概化的原则	25
二、钻孔概化预处理	26
三、剖面与断层的概化处理	26
第四节 数据的存储、更新与管理	27

一、基础数据存储方式·····	27
二、数据的实时更新·····	28
三、图元数据的管理方式·····	28
第五节 流程控制与质量控制·····	29
一、模型构建依据的规范与标准·····	29
二、流程控制·····	29
三、质量控制·····	30
第三章 三维地质建模软件开发过程的关键技术研究·····	31
第一节 三维可视化交互编辑显示图形平台·····	31
一、单文档多视体系设计与 OpenGL 集成·····	31
二、基于状态机模型的功能类机制·····	32
三、三维物体在二维世界中的选择(拾取)·····	34
四、长操作线程控制·····	34
五、Tips 控制·····	35
第二节 限定Delaunay三角网格生成技术·····	36
一、问题的提出·····	36
二、空间点集的带权 Delaunay 三角化算法·····	38
三、权的赋值·····	39
四、受限条件的恢复·····	41
五、带权限定 Delaunay 三角化的算法步骤及实现·····	44
第三节 地质面相互关联与切割技术·····	45
一、地质面相交与切割处理·····	45
二、地层断裂处理·····	48
第四节 拓扑一致的地质体区块提取·····	52
一、地质体区块提取算法流程·····	52
二、断面有效相交环线处理·····	53
三、地质体区块追踪·····	56
第四章 三维地质建模软件设计与实现·····	59
第一节 系统结构与设计方案·····	59
一、系统总体结构设计·····	59
二、系统的应用模式·····	61
三、软件系统的主要功能·····	63
第二节 三维地质模型编辑平台·····	66
一、数据导入与处理·····	66
二、地表建模·····	70
三、断面建模·····	73
四、地层面建模·····	79
五、地质体建模·····	104

第三节 地质体的三维可视化·····	106
一、剖切面·····	107
二、地质体的剖切·····	109
三、光源的可视化·····	111
四、岩性库·····	113
五、其他可视化功能·····	115
第五章 黑河流域三维地质模型·····	119
第一节 黑河流域水文地质模型构建设计·····	119
一、黑河流域地质概况·····	119
二、三维建模的基础数据与预处理·····	122
三、黑河流域地下水三维地质模型构建方案·····	127
第二节 黑河流域三维水文地质模型·····	132
一、总模型概况·····	132
二、各子模型概况·····	133
结束语·····	148
参考文献·····	149

第一章 地质三维建模技术现状与需求

以高速传递的信息流取代物质流是当今信息时代的一个显著特点,而图形无疑是传播信息的高效率载体,正所谓“一图胜千言”。在各种应用信息系统的建设过程中,尤其是涉及大量基于空间信息的地质资料时,如何实现地质体三维的可视化显示、满足于人们对空间数据信息的视觉需求,将是极为必要的。地下水水资源的信息表达不仅仅是一个量上的概念,更重要的是其在空间的分布上,为进行地下水资源的计算,则需要表达与之相关联的一系列空间数据信息,所有这些信息表现出了强烈的三维空间性。对人类的视觉来讲,基于枯燥的数字、甚至二维平面来表达物体对象的复杂三维结构是极为抽象的,这就要求在进行地下水资源信息化管理设计时,无论是数据库建设,还是软件开发,均要基于对象可视化目标,将一个形象的地下水资源信息世界展现给用户。

第一节 地质体三维建模技术综述

三维地质模型是研制地质体三维模拟与可视化软件的核心与基础。近年来国内外已有不少研究与探索,但总的来说,三维地质模型的数据模型的理论与技术仍未成熟,这在很大程度上制约了三维地学软件的开发,这方面的突破将有力地促进三维地学软件的发展。

一、地质体三维建模方法

在分析三维空间建模方面的国内外大量研究文献的基础上,目前主要有四种类型的建模方法:基于体的建模方法、基于面的建模方法、混合建模方法(表1-1)以及泛权建模方法。

表 1-1 3D 空间建模方法分类

体模型		面模型	混合模型
规则体元	不规则体元		
结构实体几何 (CSG)	实体 (Solid)	不规则三角网 (TIN)	TIN-CSG 混合
体素(Voxel)	四面体 (TEN)	网格(Grid)	TIN-Octree 混合
八叉树(Octree)	金字塔(Pyramid)	边界表示模型(B-Rep)	WireFrame-Block 混合
规则块体 (Regular Block)	三棱柱(TP), 似三棱柱 (QTPV)	线框 (WireFrame) 或相连切片 (Linked Slices)	Octree-TEN 混合
针体(Needle)	地质细胞(Geocellular)	断面(Section)	GTP-TEN 混合
	不规则块体(Irregular Block)	断面 - 三角网混合	
	3D Voronoi 图	多层 DEMS	
	广义三棱柱(GTP)		

1. 基于体的建模方法

体模型基于3D空间的体元分割和真3D实体表达，体元的属性可以独立描述和存储，因而可以进行3D空间操作和分析。体元模型可以按体元的面数分为四面体（Tetrahedral）、六面体（Hexahedral）、棱柱体（Prismatic）和多面体（Polyhedral）等类型，也可以根据体元的规整性分为规则体元和不规则体元两个大类。建模方法如下：

- (1) 规则块体（Regular Block）建模；
- (2) 结构实体几何（CSG）建模；
- (3) 3D体素（Voxel）建模；
- (4) 八叉树（Octree）建模；
- (5) 针体（Needle）建模；
- (6) 四面体格网（TEN）建模；
- (7) 金字塔（Pyramid）模型；
- (8) 三棱柱（Tri-Prism, TP）建模；
- (9) 地质细胞（Geocellular）模型；
- (10) 不规则块体（Irregular Block）建模；
- (11) 实体（Solid）建模；
- (12) 3D Voronoi图模型；
- (13) 广义三棱柱(GTP)建模。

2. 基于面的建模方法

基于面模型的建模方法侧重于3D空间实体的表面表示，如地形表面、地质层面、构筑物（建筑物）及地下工程的轮廓与空间框架。所模拟的表面可能是封闭的，也可能是非封闭的。基于采样点的TIN模型和基于数据内插的Grid模型通常用于非封闭表面模拟；而B-Rep模型和Wire Frame模型通常用于封闭表面或外部轮廓模拟。Section模型、Section-TIN混合模型及多层DEM模型通常用于地质建模。通过表面表示形成3D空间目标轮廓，其优点是便于显示和数据更新，不足之处由于缺少3D几何描述和内部属性记录而难以进行3D空间查询与分析。建模方法如下：

- (1) TIN和Grid模型；
- (2) 边界表示（B-Rep）模型；
- (3) 线框（Wire Frame）模型；
- (4) 断面（Section）模型；
- (5) 断面-三角网混合模型；
- (6) 多层DEM建模。

3. 混合建模方法

基于面模型的建模方法侧重于3D空间实体的表面表示，如地形表面、地质层面等，通过表面表示形成3D目标的空间轮廓，其优点是便于显示和数据更新，不足之处是难以进行空间分析。基于体模型的建模方法侧重于3D空间实体的边界与内部的整体表示，如地层、矿体、水体、建筑物等，通过对体的描述实现3D目标的空间表示，优点是易于进行空间操作和分析，但存储空间大，计算速度慢。混合模型的目的则是综合面模型和体模型的优点，

以及综合规则体元与不规则体元的优点,取长补短。主要包括如下混合建模方法:

- (1) TIN-CSG 混合建模;
- (2) TIN-Octree 混合建模;
- (3) Wire Frame-Block 混合建模;
- (4) Octree-TEN 混合建模;
- (5) GTP-TEN 混合建模。

4. 泛权建模方法

陈树铭认为地质三维领域中,地矿、石油的三维分析相对来说是比较简单的,相比之下工程地质、水文地质等的三维分析更复杂,比如说在地矿、石油领域应用克里格方法基本就可以分析,但是对于工程地质、水文地质分析来说,克里格方法基本是不可行的。他认为目前主要有三类地质三维重构算法,即剖面成面法、直接点面法,以及拓扑分析方法。在综合应用概率统计、模糊、神经网络、插值、积分等理论的基础上,构造了一种新算法(他称之为“泛权”算法),其核心思想就是能对任意 M 维的连续、非连续边界进行重构分析,并同时能耦合地模拟各种复杂背景因素的影响。

(1) 剖面成面法。剖面成面法的基本思路是,在生成大量的地质剖面的基础上,再应用曲面构造法(趋势面法、DEM生成技术)来生成各个层面,进而来表达三维体。比如国外的三维地质分析软件 GEOCOM 就是采取此种思路的一个典型。具体的解决步骤如下:

- ① 收集、整理原始地质资料,并进行柱状和综合分层;
- ② 建立地质空间多参数数据库;
- ③ 根据以上资料,应用人工交互式的地质剖面生成软件平台,加上专家的人工干预生成各种各样的空间地质剖面;
- ④ 分别根据各已计算剖面的地层分布结果,加上专家的干预、分析参数的控制来生成各个地质曲面;
- ⑤ 建立地层空间曲面构架数据库;
- ⑥ 应用地质三维展示平台,基于地层空间曲面构架数据库、地质空间多参数数据库,来进行地质三维展示,三维切割分析、方量计算等功能。

(2) 直接点面法。直接点面法的基本思路是,直接将原始的散状数据进行有效的分层,直接根据各个层面的标高,应用曲面构造法(趋势面法、DEM生成技术)来生成各个层面。比如国外的三维地质分析软件 ROCKWARE 就是采取此种思路的一个典型。其解决步骤基本同于剖面成面法,只是没有下文第3)步,但是地层曲面生成技术相对前者来说要更难一些。

(3) 拓扑分析法。拓扑分析法的基本思路就是,基于各个层面的离散点,通过分析这些点的空间拓扑关系,构造地质体。目前来说进行拓扑分析基本采用六面体、四面体模型,或者是 Delaunay 四面体模型等。其与剖面成面法、直接点面法,在本质上没有什么区别,还是从离散的点出发去构造地质层面。

二、三维图形可视化制作技术

(一) OpenGL

OpenGL(Open Graphics Libaray)由 SGI 公司为其图形工作站开发的可以独立于窗口操

作和硬件环境的图形开发系统。其目的是将用户从具体的硬件和操作系统中解放出来。用此系统可以不去理解这些系统的结构和指令系统，只要按规定的格式书写应用程序就可以在任何支持该语言的硬件平台上执行。由于 OpenGL 的高度可重用性，已经有几十家大公司表示接受 OpenGL 作为标准软件接口，目前加入 OpenGL ARB（OpenGL 体系结构审查委员会）的成员有 SGI 公司、HP 公司、MicroSoft 公司、Intel 公司、IBM 公司、SUN 公司、DEC 公司、AT&T 公司的 Unix 软件实验室等。在该组织的努力下，OpenGL 已经成为高性能图形和交互式视景处理的工业标准，能够在 Windows95/98、Windows NT、Windows 2K、Macos、Beos、OS/2 以及 Unix 上应用。OpenGL 的实质是作为图形硬件的软件接口，是一组三维的 API 函数。

1. OpenGL 的主要功能

(1) 建模。不但有简单的点线面还提供了复杂的三维物体（球、锥等）以及复杂的曲线曲面（Bezier、Nurbs 等）绘制函数。

(2) 变换。主要包括基本变换（平移、旋转等）和投影变换（平行、透视投影等）。

(3) 颜色模式设置。RGBA 模式、ColorIndex 颜色索引。

(4) 光照和材质设置。OpenGL 光有辐射光、环境光、漫反射光、镜面光；材质是用光反射率来表示的。场景中物体最终反映到人眼的颜色是光的 RGB 分量和材质的 RGB 分量叠加形成的。

(5) 纹理映射。主要表达物体表面的细节。

(6) 位图显示和图像增强。图像功能除了基本的复制和图像像素读写外，还提供融合（Blending）、反走样（Antialiasing）、雾化（Fog）等特殊的图像处理效果。

(7) 双缓冲（Double Buffering）动画。双缓冲即前台缓冲和后台缓冲。后台计算场景、产生画面，前台显示后台已经计算好的画面。

(8) 交互技术。主要是提供三种工作模式：绘图模式、选择模式和反馈模式。绘图模式完成场景的绘制，可以借助物体的几何参数及运动控制参数、场景的观察参数、光照参数和材质参数、纹理参数、OpenGL 函数的众多常量控制参数、时间参数等和 Windows 对话框、菜单、外部设备等构成实时交互的程序系统。在选择模式下，则可以对物体进行命名，选择命名的物体，控制对命名的物体的绘制。而反馈模式则给程序设计提供了程序运行的信息，这些信息也可反馈给用户，告诉用户程序的运行状况和监视程序的运行进程。

(9) 其他。利用 OpenGL 还能实现深度暗示（Depth Cue）、运动模糊（Motion Blur）等特殊效果。

2. OpenGL 的基本原理

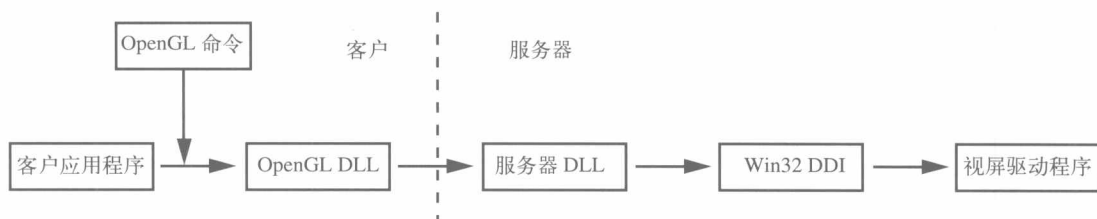
OpenGL 是一个硬件发生器的软件接口，其主要目的是将二维、三维物体绘制到一个帧缓冲里，它包括几百个图形函数。开发者主要利用这些函数来建立三维模型和进行三维实时交互。

(1) 图元操作和指令。OpenGL 能够从多种可选择的模式画图元，而且一种模式的设置一般不会影响其他模式的设置，无论发生深墨情况，指令总是被顺序处理，也就是说，一个图元必须完全画完之后，后继图元才能影响帧存。

(2) 图形控制。OpenGL 提供诸如变换矩阵、光照、反走样方法、像素操作等参数来控制二维和三维图形的绘制。它并不提供一个描述或建立复杂几何物体的手段。OpenGL

提供的是怎样画复杂物体的机制而非描绘复杂物体本身的面面俱到的工具。即OpenGL是过程性的而非描述性的。

(3) 执行模式。OpenGL 命令的解释模式是客户/服务器模式的, 即由客户发布命令, 命令由 OpenGL 服务器(解释器)来处理, 服务器可以运行在相同的或不同的计算机上, 基于这一点, OpenGL 是网络透明的。



3. OpenGL 的命令语法与状态

基于 OpenGL 标准开发的微机应用程序必须在 32 位 Windows 平台下, 如 Windows 98/NT 环境, 运行时所需的动态连接库为 OpenGL32.DLL、Glu32.DLL。OpenGL 包含 100 多个库函数, 这些函数按一定的格式来命名。

(1) 核心函数 115 个, 每个函数以 gl 开头, 这些函数是最基本的, 可以运行在任何工作平台上。这些函数创建二维和三维几何形体, 设置视点, 建立视觉体, 设置颜色及材质, 建立灯光, 进行纹理映射, 反走样, 处理融合, 雾化场景等, 它们可以接受不同的参数, 因而可派生 300 多个函数。

(2) OpenGL 实用库函数以 glu 开头, 共 43 个。这些函数基于 OpenGL 核心函数, 主要提供对辅助函数的支持, 并且执行了核心 OpenGL 函数的交互, 因而是比核心函数更高一层的函数, 也更有通用性。可以运行在任何 OpenGL 工作平台上。

(3) 辅助库函数, 共 31 个。以 aux 开头, 它们是一类特殊的 OpenGL 函数, 是帮助初学者尽快进入 OpenGL 编程而做简单练习用的。因此并不能在所有平台上运行。但 Windows 98/NT 支持它们。

(4) Windows 专用库函数, 以 wgl 开头。主要是连接 OpenGL 和 Windows 窗口系统的, 用它们可以管理着色描述表及显示列表, 扩展功能, 管理字体位图等。

(5) Win32 API 函数, 共 6 个, 用于处理像素格式及缓冲。

(6) OpenGL 结构, 共 4 个。

4. OpenGL 图形操作步骤

步骤 1: 设置像素格式: 主要包括建立 OpenGL 绘制风格、颜色模式、颜色位数、深度位数等;

步骤 2: 建立模型: 建立三维模型;

步骤 3: 舞台布景: 如何把景物放置在三维空间的适当位置, 设置三维透视视觉体以观察场景;

步骤 4: 效果处理: 设置物体的材质(颜色、光学性能及纹理映射等)加入光照及光照条件;

步骤 5: 光栅化: 把景物及其颜色信息转化为可在计算机上显示的像素信息。

(二) VRML

1. VRML 简介

VRML 是英文 Virtual Reality Modeling Language——虚拟现实造型语言的缩写。其最初的名字叫 Virtual Reality Makeup Language。名字是由第一届 WWW(1994, 日内瓦)大会上, 由 Tim Berners Lee 和 Dave Raggett 所组织的一个名为 Bird-of-a-Feather(BOF)小组提出的。后来 Makeup 改为 Modeling。VRML 和 HTML 是紧密相连的, 是 HTML 在 3D 领域的模拟和扩展。由于 VRML 在 Internet 具有良好的模拟性和交互性, 因而显示出强大的生命力。

VRML 是一种 3D 交换格式, 它定义了当今 3D 应用中的绝大多数常见概念, 诸如变换层级、光源、视点、几何、动画、雾、材质属性和纹理映射等。VRML 的基本目标是确保能够成为一种有效的 3D 文件交换格式。

VRML 是 HTML 的 3D 模型。它把交互式三维能力带入了万维网, 即 VRML 是一种可以发布 3D 网页的跨平台语言。事实上, 三维提供了一种更自然的体验方式, 例如游戏、工程和科学可视化、教育和建筑。诸如此类的典型项目仅靠基于网页的文本和图像是不够的, 而需要增强交互性、动态效果连续感以及用户的参与探索, 这正是 VRML 的目标。

VRML 提供的技术能够把三维、二维、文本和多媒体集成为统一的整体。当把这些媒体类型和脚本描述语言 (scripting language) 以及因特网的功能结合在一起时, 就可能产生一种全新的交互式应用。VRML 在支持经典二维桌面模型的同时, 把它扩展到更广阔的时空背景中。

VRML 是赛博空间 (cyber space) 的基础。赛博空间的概念是由科幻作家 William Gibson 提出的。虽然 VRML 没有为真正的用户仿真定义必要的网络和数据库协议, 但是应该看到 VRML 迅速发展的步伐。作为标准, 它必须保持简单性和可实现性, 并在此前提下鼓励前沿性的试验和扩展。

2. VRML 的基本工作原理及其特性

(1) 用文本信息描述三维场景。在 Internet 网上传输, 在本地机上由 VRML 的浏览器解释生成三维场景, 解释生成的标准规范即是 VRML 规范。正是基于 VRML 的这种工作机制, 才使其可能在网络应用中有很快的发展。当初 VRML 的设计者们考虑的也正是文本描述的信息在网络上的传输比图形文件迅速, 所以他们避开在网络上直接传输图形文件而改用传输图形文件的文本描述信息, 把复杂的处理任务交给本地机从而减轻了网路的负荷。

(2) 统分结合模式。VRML 的访问方式基于 C/S 模式, 其中服务器提供 VRML 文件, 客户通过网络下载希望访问的文件, 并通过本地平台的浏览器 (Viewer) 对该文件描述的 VR 世界进行访问; 即 VRML 文件包含了 VR 世界的逻辑结构信息, 浏览器根据这些信息实现许多 VR 功能。这种由服务器提供统一的描述信息, 客户机各自建立 VR 世界的访问方式被称为统分结合模式, 也是 VRML 的基本概念。由于浏览器是本地平台提供的, 从而实现了 VR 的平台无关性。

(3) 基于 ASCII 码的低带宽可行性。VRML 像 HTML 一样, 用 ASCII 文本格式来描述世界和链接, 保证在各种平台上通用, 同时也降低了数据量, 从而在低带宽的网络上也可以实现。

(4) 实时 3D 着色引擎。传统的 VR 中使用的实时 3D 着色引擎在 VRML 中得到了更好的体现。这一特性把 VR 的建模与实时访问更明确地隔离开来,也是 VR 不同于三维建模和动画的地方。后者预先着色,因而不能提供交互性。VRML 提供了 6+1 个自由度,即三个方向的移动和旋转,以及和其他 3D 空间的超链接(Anchor)。

(5) 可扩充性。VRML 作为一种标准,不可能满足所有应用的需要。有的应用希望交互性更强,有的希望画面质量更高,有的希望 VR 世界更复杂。这些要求往往是相互制约的,同时又受到用户平台硬件性能的制约,因而 VRML 是可扩充的,即可以根据需要定义自己的对象及其属性,并通过 Java 语言等方式使浏览器可以解释这种对象及其行为。

(三) X3D

X3D (Extensible 3D ——可扩展 3D) 是一个软件标准,定义了如何在多媒体中整合基于网络传播的交互三维内容。X3D 将可以在不同的硬件设备中使用,并可用于不同的应用领域中。比如工程设计、科学可视化、多媒体再现、娱乐、教育、网页、共享虚拟世界等方面。X3D 也致力于建立一个 3D 图形与多媒体的统一的交换格式。X3D 是 VRML 的继承。VRML (Virtual Reality Modeling Language - 虚拟现实建模语言) 是原来的网络 3D 图形的 ISO 标准 (ISO/IEC 14772)。X3D 相对 VRML 有了改进,提供了以下的新特性: 更先进的应用程序界面,新添的数据编码格式,严格的一致性,组件化结构(用来允许模块化的支持标准的各部分)。

1. X3D 设计目标

X3D 确立了以下的设计目标:

- (1) 分离数据编码和运行时间结构;
- (2) 支持大量的数据编码格式,包括 XML(Extensible Markup Language);
- (3) 增加新的绘图对象、行为对象、交互对象;
- (4) 给 3D 场景提供可选的应用程序界面 (APIs);
- (5) 定义规格的子集“概貌(Profiles)”以适合不同的市场需要;
- (6) 允许在不同层次(levels)的服务上都能实现 X3D 规格;
- (7) 尽可能添加完善规格中行为的定义或描述。

2. X3D 特性

为了满足工程设计、科学可视化、多媒体再现、娱乐、教育、网页、共享虚拟世界等方面使用的需要,X3D 添加了以下的新特性:

- (1) 3D 图形: 多边形化几何体、参数化几何体、变换层级、光照、材质、多通道/多进程纹理贴图;
- (2) 2D 图形: 在 3D 变换层级中显示文本、2D 矢量、平面图形;
- (3) 动画: 计时器和插值器驱动连续动画;人性化动画和变形;
- (4) 空间化的音频和视频: 在场景几何体上映射视听源;
- (5) 用户交互: 基于鼠标的选取和拖曳;键盘输入;
- (6) 导航: 摄像机;用户在 3D 场景中的移动;碰撞、接近和可见性检测;
- (7) 用户定义对象: 通过创建用户定义的数据类型,可以扩展浏览器的功能;
- (8) 脚本: 通过程序或脚本语言,可以动态地改变场景;

(9) 网络：可以用网络上的资源组成一个单一的 X3D 场景；可以通过超链接对象连接到其他场景或网络上的其他资源；

(10) 物理模拟：人性化动画；地理化数据集；分布交互模拟 (Distributed Interactive Simulation-DIS) 协议整合。

(四) Java 3D

Java 3D 用其自己定义的场景图和观察模式等技术构造了 3D 的上层结构，实现了在 Java 平台使用三维技术。Java 3D API 是 Sun 定义的用于实现 3D 显示的接口。3D 技术是底层的显示技术，Java 3D 提供了基于 Java 的上层接口。Java 3D 把 OpenGL 和 DirectX 这些底层技术包装在 Java 接口中。这种全新的设计使 3D 技术变得不再繁琐并且可以加入到 J2SE、J2EE 的整套架构，这些特性保证了 Java 3D 技术强大的扩展性。Java 3D 建立在 Java2 (Java1.2) 基础之上，Java 语言的简单性使 Java 3D 的推广有了可能。Java 3D 是在 OpenGL 的基础上发展起来的，可以说是 Java 语言在三维图形领域的扩展，其实质是一组 API 即应用程序接口。利用 Java 3D 所提供的 API 就可以编写出一些诸如三维动画、远程三维教学软件、三维辅助设计分析和模拟软件，以及三维游戏等。它实现了以下三维功能：

- (1) 生成简单或复杂的形体（也可以调用现有的三维形体）；
- (2) 使形体具有颜色、透明效果、贴图；
- (3) 在三维环境中生成灯光、移动灯光；
- (4) 具有行为的处理判断能力（键盘、鼠标、定时等）；
- (5) 生成雾、背景、声音；
- (6) 使形体变形、移动、生成三维动画；
- (7) 编写非常复杂的应用程序，用于各种领域如 VR（虚拟现实）。

1. Java 3D 的数据结构

Java 3D 的数据结构和 OpenGL 的数据结构一样，采用的是场景图的数据结构，但 Java 3D 根据 Java 语言的特点。Java 3D 的场景图是 DAG(Directed-acyclic Graph)，其特点是具有方向的不对称性。Java 3D 的场景图由 Java 3D 的运行环境直接转变成具有三维显示效果的显示内存数据，从而在计算机上显示出三维效果，显示内存中不断接收 Java 3D 的运行最新结果，从而产生三维动画。

2. Java 3D (API) 中的类

Java 3D 是根据 OpenGL 的三维图形库及 VRML 的基础上开发出来的一个 API，里面包含了几乎所有编写 Java 交互式三维应用程序所需的最基本的类（类方法）、接口。主要存放在程序包 Javax.media.j3d 中，这些是 Java 3D 的核心类。另外，还有提供一个有助于快速编程的应用类型的包 (Utility 包) com.sun.j3d.utils (可或缺，主要是能大大地提高程序的编写效率)。除了核心类和 Utility 包之外，还有：

- (1) Java.awt(主要是定义一个显示用的窗口)；
- (2) Javax.vecmath (主要是处理定义的矢量计算所用的类，今后核心类)；
- (3) Java 3D 的类根据作用可分为 Node、NodeComponent，其中 Node 又分为 Group 及 Leaf 两个子类。

(五) IDL

1. IDL 简介

IDL(Interactive Data Language)是美国RSI 公司(Research System Inc) 的产品,它集可视、交互分析、大型商业开发为一体,为用户提供了完善、灵活、有效的开发环境。IDL 的主要特性包括:

(1) 高级图像处理、交互式二维和三维图形技术、面向对象的编程方式、OpenGL 图形加速、跨平台图形用户界面工具包、可连接 ODBC 兼容数据库及多种程序连接工具等。

(2) IDL 是完全面向矩阵的,因此具有处理较大规模数据的能力。IDL 可以读取或输出有格式或无格式的数据类型,支持通用文本及图像数据,并且支持在 NASA, TPT, NOAA 等机构中大量使用的 HDF, CDF 及 netCDF 等科学数据格式及医学扫描设备的标准格式 DICOM 格式。IDL 还支持字符、字节、16 位整型、长整型、浮点、双精度、复数等多种数据类型。能够处理大于 2Gb 的数据文件。IDL 采用 OpenGL 技术,支持 OpenGL 软件或硬件加速,可加速交互式的 2D 及 3D 数据分析、图像处理及可视化。可以实现曲面的旋转和飞行;用多光源进行阴影或照明处理;可观察体(Volume) 内部复杂的细节;一旦创建对象后,可从各个不同的视角对对象进行可视分析。

(3) IDL 具有图像处理软件包,例如感兴趣区(ROI) 分析及一整套图像分析工具、地图投影及转换软件包,宜于 GIS 的开发。

(4) IDL 带有数学分析和统计软件包,提供科学计算模型。可进行曲线和曲面拟合分析、多维网格化和插值、线性和非线性系统等分析。

(5) 用 IDL DataMiner 可快速访问、查询并管理与 ODBC 兼容的数据库,支持 Oracle, Informix, Sybase, MS SQL 等数据库。可以创建、删除、查询表格,执行任意的 SQL 命令。

(6) IDL 可以通过 ActiveX 控件将 IDL 应用开发集成到与 COM 兼容的环境中。用 Visual Basic, Visual C++ 等访问 IDL,还可以通过动态连接库方式从 IDL 调用 C, Fortran 程序或从其他语言调用 IDL。

(7) 用 IDL GUIBuilder 可以开发跨平台的用户图形界面(GUI), 用户可以拖放式建立图形用户界面 GUI, 灵活、快速地产生应用程序的界面。

(8) IDL 为用户提供了一些可视数据分析的解决方案,早在 1982 年 NASA 的火星飞越航空器的开发就使用了 IDL 软件。

2. IDL 的编程方式

IDL 有两种编程方式,一是利用 IDL 平台的 GUIBuilder 进行编程,这种方式的特点是所见即所得,使用 IDL 自身所具有的控件进行编程和界面设置,但使用灵活性不够;另一种是利用 IDL 平台的集成开发环境的组件编程技术,这种方式的特点是较为灵活,而且功能较强,可以随着编程者的意愿进行设置。另外在 IDL 中有批处理文件语句,即在命令行中直接输入命令语句来进行数据的读入和输出,以及进行属性设置和处理。此外,IDL 提供 IDLDRAW WIDGET 控件,可进行基于 COM 技术的开发。

3. IDL 的应用领域

由于其强大的功能和独特的特点,IDL 语言可以应用地球科学(包括气象、水文、海洋、