

# Linux 下基于体绘制算法实现地震数据的三维可视化

吴志勤<sup>1</sup> 王 赟<sup>2</sup> 宁书年<sup>1</sup> 李 刚<sup>1</sup> 李国发<sup>1</sup>

(中国矿业大学北京校区,北京 100083)

(中科院地质与地球物理研究所,北京 100029)

E-mail: zqingtian315@sohu.com

**摘 要** 论文针对地震数据量大且为结构化规则网格型体数据场的特点,根据地震解释的需要,对直接体绘制算法进行了简化和改进,利用 OpenGL 和 Qt 实现了 Linux 系统中地震数据的三维可视化,取得了较好的效果。

**关键词** 地震数据 三维可视化 直接体绘制 OpenGL Qt

文章编号 1002-8331-(2004)02-0182-03 文献标识码 A 中图分类号 P208

## The Realization of Three-Dimensional Visualization of Seismic Data on Linux

Wu Zhiqin<sup>1</sup> Wang Yun<sup>2</sup> Ning Shunian<sup>1</sup> Li Gang<sup>1</sup> Li Guofa<sup>1</sup>

(Beijing Campus, China University of Mining and Technology, Beijing 100083)

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029)

**Abstract**: Seismic data's feature is great quantity and is regular grid volume data field. According to these and considering the requirement of seismic interpretation, direct volume rendering is adopted with some reasonable simplification and improvement to realize three-dimensional visualization of seismic data on Linux utilizing OpenGL and Qt. The effect is encouraging.

**Keywords**: seismic data, three-dimensional visualization, direct volume rendering, OpenGL, Qt

### 1 绪论

科学计算可视化的核心是三维空间数据场的显示<sup>[1]</sup>。地震数据的三维可视化是科学计算可视化在地震勘探领域的具体应用。通过把从三维地震勘探中获取的大量数据转换为二维三维图像,通过二维切片与三维体数据联合显示等手段<sup>[2]</sup>为地质解释人员提供了直观的感受,加深了对地质体属性的认识 and 把握,大大提高了解释工作的精度和效率。

Linux 是类似 Unix、以核心模组为基础的、完全内存保护的多任务操作系统。由于它可以免费获得,且源代码开放,具有稳定、强壮、高效的特点及其与 Unix 系统的天然渊源,在地震勘探领域的应用特别是在高性能计算(HPC)和地震三维成像方面正在日益深入和广泛。例如英国石油(BP)的高级地震研究部门就采用了 Linux 操作系统的 HPC 集群,从而显著地加快了其三维地震成像的速度。最近美国 SGI 公司与著名地质勘探软件商挪威 VoxelVision 公司联合推出了地质勘探行业用户专用的配备 GIGAviz 软件平台的超级计算机系统,在加载、存储、分析地震数据,以及实现三维可视化与仿真高性能计算方面有着优异的表现,它所采用的操作系统也是 Linux 系统。

目前的三维地震数据成像软件基本为国外垄断,且运行平

台仍然多为价格昂贵的 Unix 工作站。随着高性能低价格的集群系统的发展与应用,开发基于 Linux 系统的地震勘探数据三维可视化软件已经非常迫切。

### 2 SEGY 数据格式及体绘制算法简介

#### 2.1 SEG-Y 数据格式与可视化算法选择

文中用于实现可视化的数据是地震勘探中最广泛使用的 SEG-Y 格式数据。其数据属于标量数据场,标量的数据没有方向性,不依赖于坐标系,即在坐标变换时保持其值不变。标准 SEG-Y 格式包括 3600 字节的带头数据以及多个道数据块,每个道数据块又以 240 字节的测线头数据开始。地震数据则以 32 位浮点数、32 位整型、16 位整型或整型加增益码的格式记录。地震数据由等距测线及等距道观测点及等距的采样点所控制,因而是分布在三维空间的结构化规则网格型体数据场。假定数据场有  $N_x \times N_y \times N_z$  个网格点,则沿 X 轴共有  $N_x$  个  $N_y \times N_z$  的二维矩阵,每个二维矩阵称为沿 X 轴的一个数据层,同理,沿 Y 轴和 Z 轴分别由  $N_y$  和  $N_z$  个数据层组成。

对于分布在三维空间的体数据有两类不同的可视化算法<sup>[1-3]</sup>。第一类算法首先由三维空间数据场构造出中间几何图元

(如曲面,平面等),然后实现画面绘制,这是常用的可视化算法,其优点是图像生成及变换的速度较快,缺点是它只是把原始数据的部分属性映射成平面或曲面,因而不能反映整个原始数据场的全貌。第二类算法是直接体绘制(Direct Volume Rendering)算法,这是近年来迅速发展的一种三维数据场可视化方法。它并不构造中间几何图元,而是直接由三维数据场产生屏幕上的二维图像。它具有可以产生三维数据场的整体图像,且图像质量高,便于并行处理等优点。缺点是计算量大、耗时。

2.2 光线投射体绘制基本原理及算法简介

体绘制技术的实质是把离散的三维空间数据场转换为离散的二维数据点阵,首先必须进行三维空间数据场的重采样。其次,要考虑三维空间中每一个数据对二维图像的贡献,因而必须实现图像的合成。所以体绘制技术的实现是一个三维离散数据场的重新采样的图像合成的过程。

假定三维数据场的采样点  $f(i,j,k)$  分布在空间网格点上,网格点是矩形分布且网格点之间的距离在  $i,j,k$  三个方向上的至少一个方向上相等。从屏幕上的每一个像素点出发根据设定的观察方向发出一条穿过数据场矩阵的射线,沿着这条射线选择  $K$  个等距的再采样点。由距离某一再采样点最近的八个数据点的颜色值和不透明度值作三次线性插值,求出该采样点的颜色值及不透明度值,并将其转换成相应的图像空间坐标。如果要得到具有明暗效果的图像,可以用中心差分方法得出各数据点的梯度值,即:

$$\begin{aligned}(\text{grad } f)_x &= \frac{f(x+1,y,z)-f(x-1,y,z)}{2} \\ (\text{grad } f)_y &= \frac{f(x,y+1,z)-f(x,y-1,z)}{2} \\ (\text{grad } f)_z &= \frac{f(x,y,z+1)-f(x,y,z-1)}{2}\end{aligned}$$

以梯度代替法矢量,再用传统的 Phong 模型计算出各数据点处的光亮值,然后再发出射线,实现重采样得出各采样点的图像空间坐标。得到每一个再采样点的不透明度和颜色值以后,从前向后依次将每一个采样点的颜色值按如下公式实行合成,就得到最终像素点的颜色值:

$$\begin{cases} C_{out} * \alpha_{out} = C_{in} * \alpha_{in} + C_{now} * \alpha_{now} (1 - \alpha_{in}) \\ C_{out} = \alpha_{in} + \alpha_{now} (1 - \alpha_{in}) \end{cases}$$

式中  $C_{in}, \alpha_{in}$  代表射线进入当前再采样点之前的颜色和不透明度,  $C_{now}, \alpha_{now}$  表示当前再采样点的颜色和不透明度,  $C_{out}, \alpha_{out}$  表示叠加上当前再采样点的颜色和不透明度后的相应值。

作者采用了体绘制算法中的光线投射算法,图 1 是唐泽圣对 M.Levoy 提出的光线投射算法改进后的算法流程图<sup>[6]</sup>,其中数据预处理包括原始数据格式转换、剔除冗余数据及导出所需数据等功能,而后对数据值进行分类,并根据分类结果赋予不同的颜色值  $\alpha(i,j,k)$  及不透明度值  $\alpha(i,j,k)$ 。它适用于原始数据具备以下特点的数据场:(1)数据量相对较小;(2)具有相近特征值的物质分布相对集中,不同物质间有比较明晰的分界面;(3)局部细节信息较为重要。某些领域的的数据场如医学数据具备这些特点。而地震数据的特点是数据量大,不同特征值物质分布散乱,没有很明晰的分界面,各体素处梯度方向杂乱无章,因而光照效果弱,更加注重宏观和总体上的地层特征等等。针对地震三维数据的特点和地震解释工作的要求<sup>[5]</sup>,作者对算法进行了一定的简化(图中的虚线框部分)。

地震数据梯度值变化杂乱,光照效果弱且对于地震解释几乎没有影响,因而忽略光照效应,从而减去了梯度计算。地震剖

面通常是通过整体特征反映地质变化规律,因此根据地震数据的数据量庞大而地震剖面间信息意义相对较小的特点,在层间不再设置再采样点而是使其固定在数据层上,从而将三维线性插值变为二维线性插值,降低了计算量。在图像合成时,计算不透明度值  $\alpha$  时采用由前向后的算法,即合成像素点图像时,先计算前面的体元的不透明值并与其后体元的不透明值进行累加,当  $\alpha$  接近 1 时,说明该像素点的图像已经接近不透明,以后的体元不会对该点图像有所贡献而不再计算,从而省去无效的计算。此外,在算法实现时把 OpenGL 中  $\alpha$ -Blending 技术和二维纹理映射技术结合起来自动地进行透明效果的累计,发挥硬件加速的优势,使速度进一步提高。实际证明,这些简化是可行的,在基本不影响效果的情况下提高了显示速度。

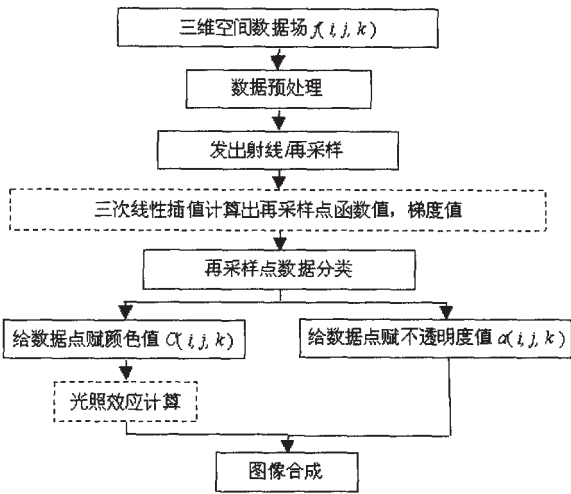


图 1 光线投射体绘制算法流程图

3 Linux 平台下的实现

3.1 OpenGL 和 QT

作者利用 OpenGL 和 QT 进行开发,OpenGL 是开放图形库(Open Graphics Lib)的缩写,目前已经成为三维图形领域的工业标准。SGI 在 1992 年 7 月发布 1.0 版,最新版规范是 1.4。OpenGL 具有优异的图形性能,而且独立于硬件和窗口系统,在各种操作系统上都可用,并能以客户/服务器模式工作,是专业图形处理、科学计算等高端应用领域的标准图形库。由于在地震资料的三维可视化中,交互性具有极其重要的作用<sup>[5]</sup>。而在这方面 OpenGL 存在不足:(1)OpenGL 本身只提供三维图形接口,不具备绘制窗口、接收响应、处理消息等功能。(2)OpenGL API 是低级 C 函数,不提供可重用的对象库或程序框架,开发效率不高<sup>[7]</sup>。因而采用 QT 来设计程序的图形用户界面。QT 的主要优点有:(1)优秀的跨平台特性。(2)模块化程度非常高,可重用性较好。(3)丰富的 API 和多达 250 个以上的 C++ 类,还提供基于模板的集合、序列化、文件、输入输出设备、文件夹管理等类。(4)支持 2D/3D 图形渲染,Qt 提供了 QGL 和 QGLWidget 类支持 OpenGL 开发,提高了开发效率。(5)支持 XML。使用 C++ 对库的稳定性、健壮性要求比较高,并且跨平台开发的情况下使用 Qt 是较好的选择。

3.2 程序中主要的类

遵循面向对象的设计思想,作者设计了 SegyFile 类,它从 QT 的 QFile 类继承,对 SEG-Y 格式数据进行了封装,对数据的预处理也封装在该类之中。其成员变量主要涵盖了数据文件

头中的一些关键信息。其成员函数则主要包括数据的加载,数据的格式转换,文件头信息的读取操作,以及针对不同数据格式进行的归一化操作。

在从 QGLWidget 类继承而来的 SeismicGLWidget 类中则封装了利用 OpenGLAPI 对地震数据进行的体绘制算法实现以及显示功能。其中三个重要的函数是 initializeGL(),它负责设置 OpenGL 的着色描述表(rendering context),定义显示列表等初始化工作,显示列表项提供了对 OpenGL 命令组的预编译功能,在复杂数据体绘制以及交互应用程序中可以有效地提高绘图性能。resizeGL()设置 OpenGL 视口,投影变换等工作;paintGL()则负责图形的绘制工作。在 OpenGL 中,用 glLoadMatrix()函数加载数据来设置当前矩阵元素值,三维几何变换函数包括 glTranslate()、glRotate()和 glScale(),分别完成平移、旋转和放大缩小等任务。投影变换包括透视投影和正视图投影两类,分别用 glFrustum()和 glOrtho()完成。这里采用的是正视图投影,正视图投影也称作平行投影,即在投影时并不产生近大远小的透视效果,这对于观察地震数据是很适合的。切割三维数据体的平面由 glClipPlane()函数定义。调用 glMultMatrix()与当前矩阵相乘从而得到各种变换结果。glViewport()函数则完成定义视口的任务。

3.3 与用户的交互

实现消息驱动的交互功能需要 Qt 完成。Signal/Slot(信号/槽)机制是 Qt 的中心特征,它用于完成组件之间的消息传递。传统的解决方案是回调函数,回调是指一个函数的指针,当需要一个处理函数通知某些事件时,可以把另一个函数(回调函数)的指针传递给处理函数,处理函数在适当的时候调用回调。回调有两个主要缺点:首先不是类型安全的,即不能确定处理函数是否使用了正确的参数来调用回调。其次回调和处理函数紧密关联,处理函数必须知道要调用哪个回调。Signal/Slot 机制则避免了这两个缺点。信号和槽的机制是完全类型安全的:一个信号的签名必须与它的接收槽的签名相匹配,这样编译器就可以检测类型不匹配,不会再有回调核心转储(core dump),信号和槽可以使用任何数量、任何类型的参数。信号与槽之间松散地联系在一起,发出信号的类不需要知道哪个类哪个槽接收该信号。只要用 connect 把信号和槽连接起来,就可以保证槽会在正确的时间使用信号的参数而被调用。这可以说是真正的信息封装,并且确保了对象可以用作一个软件组件。

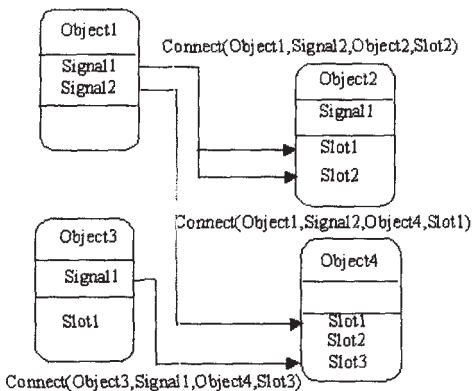


图2 信号与槽连接示意图

与回调比较而言,信号和槽构成了一个强有力的组件编程机制,而且比回调方式更加清晰、灵活,而缺点则在于相对牺牲了一些效率。

Qt 提供了许多预定义的信号和槽,基本可以处理常用的消息如鼠标、键盘消息,窗口消息等,编程时也可以很方便地加入自己定义的信号和槽函数。

图2是Qt中信号与槽连接的示意图,其中表示, Object1发出 Signal1,由 Object2 的 Slot2 函数接收处理。通过 Signal / slot 机制,实现了在显示三维地震数据时对用户操作如放缩,位图图像,输入参数等的响应。

4 实际效果

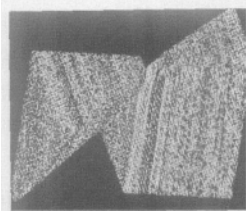


图3 三维地震数据体的剪切显示

图3是在安装 RedHat-Linux9.0 ,P4-1.6G ,256M 内存, nVidia GeForce4 Mx440-64M 显存的微机上,对新疆博生地区三维地震数据进行旋转和剪切之后的显示效果图,数据点阵大小为 128×156×147。所用的数据属于小规模数据体,测试的效果可以满足地震数据解释的需要。

5 结语

论文通过对 OpenGL 和 Qt 工具的使用,完成了在 Linux 桌面微机系统下对于地震 SEG-Y 格式数据的三维显示,取得了较好的效果。对于地震数据可以方便地进行放大、缩小、平移等操作,对数据进行水平方向和纵向的剖面剪切,还可以通过定义剪切平面对于数据体进行任意角度的剪切,并且采用针对数据特点的改进和简化算法,显示速度也大有提高。

OpenGL 应用程序绘制性能的优化是一个值得研究的问题,不仅针对硬件与软件的优化方法多而相异,即便对同一数据结构或算法,如果代码的组织不同,也会产生性能差异。由于三维地震数据量巨大的特点,对数据的显示和操作占用内存多,速度慢,受微机性能所限,必须充分利用 OpenGL 硬件加速的功能,结合对算法的优化和改进,才能发挥 OpenGL 高性能三维绘制功能的特点。在此基础上,开发在 Linux 微机集群上使用的并行处理算法,提高绘制速度,进一步改善显示的性能,使得用户真正获得一种高性价比的地震三维数据可视化平台将是下一步工作的重点。( 收稿日期 2004 年 3 月 )

参考文献

1.孙家广.计算机图形学[M].北京:清华大学出版社,1999-06  
2.李玲,王小善,李凤杰.全三维解释方法探讨与实践[J].石油地球物理勘探,1996 31(4):495-508  
3.唐泽圣等.三维数据场可视化[M].北京:清华大学出版社,1999-12  
4.黄文静,唐龙,唐泽圣.体绘制及三维交互技术在地质数据可视化中的应用[J].工程图学报,1998 3:60-66  
5.宁书年,李育芳,刘泰峰.三维地质体可视化软件理论探讨[J].煤炭工程,2002 (7):41-43  
6.廖朵朵.OpenGL 三维图形程序设计[M].北京:星球地图出版社,1996:11~12  
7.李颖,薛海斌,朱伯立等.OpenGL 函数与范例解析手册.2002-01  
8.Arthur Griffith 著,高寿福,张华等译.KDE2/Qt 编程宝典[M].北京:电子工业出版社,2001-01