

文章编号:1007-2780(2009)02-0273-05

一种真三维显示数据生成的方法

夏 果^{1,2}, 吕国强^{1,2,3}, 胡跃辉^{1,3}

(1. 特种显示技术教育部重点实验室, 安徽 合肥 230009, E-mail: hfut_xiaguo@gmail.com;

2. 合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 安徽 合肥 230009; 3. 合肥工业大学 光电技术研究院, 安徽 合肥 230009)

摘 要: 固态体积式真三维显示技术是目前最新的体数据显示技术。针对该技术存在的实时显示问题提出一种真三维显示数据生成的方法。该方法以 Visual Studio. NET 为平台通过基于 OpenGL 格式的三维模型为例进行实验, 对三维图像数据进行读取、压缩编码以及快速绘制进行了研究。程序已在 VC++ . NET 环境下编译、调试通过, 优化代码后, 图像显示的刷新速度为 24 帧/s, 在计算机上初步实现了实时显示。

关 键 词: 真三维立体显示技术; OpenGL; 三维模型; 优化代码; 实时显示

中图分类号: TN27; TN911.73 **文献标识码:** A

1 引 言

三维立体显示是当前图像处理领域的研究热点^[1-3]。领域固态体积式真三维显示(Solid-State True 3D Volumetric Display)^[1]是目前最新的体数据显示技术之一, 它采用了一种特别的立体显示方式: 利用层叠屏幕的方式显示三维物体。与其它三维显示方式不同, 固态体积式真三维显示技术具有如下特点:

- ①由于是空间成像, 观察者不需要任何的辅助设备就可以从多个角度直接观察物体^[3], 是真正的三维立体显示;
- ②显示中的三维物体既有心理景深, 又有物理景深;
- ③直线笛卡尔几何特性可以使三维图像不产生变形;
- ④其系统结构具有抗震动、抗环境干扰、体积小便于携带。

以上特点使得这种立体显示技术有望成为未来立体显示技术的主流, 并且在航天、军事、科学研究、医学三维可视化等领域得到广泛应用。

目前, 这种立体显示技术仍存在一些有待解决的问题, 如三维物体的实时显示效果、海量信息数据优化处理等。本文针对三维物体海量数据生

成及传输问题提出了一种固态体积式真三维显示数据生成的方法, 并给出实验结果。

2 真三维显示数据生成方法

生成真三维显示数据的目的是为了高速传输这些数据, 为了达到高速的传输大量立体显示数据信息要求, 本文通过采用一种数字视频接口(Digital Visual Interface, DVI)传输方式来传输立体显示信息。DVI 标准是由 Silieon Image、Intel、IBM 等公司组成的数字显示工作组于 1994 年正式推出的。采用 DVI 接口主要有两大优点: 一是 DVI 接口能实现大数据量的快速传输, 大幅节省了时间; 二是信号在传输过程中没有衰减, 色彩更逼真。DVI 支持单像素 RGB 的 24 位数据, 传输的数字信号没有经过压缩, 单连接的传输速率可达 4.9 Gb/s, 最大的刷新率能支持到 1 920×1 080×60 Hz 或 1 600×1 200×60 Hz。

如图 1 所示, 真三维显示的每个像素不仅包括 RGB 颜色值, 还包括垂直于屏幕的深度值^[4]。所以, 必需对三维立体图像信息进行编码, 每个体素由 24 位构成, 包括 R、G、B、Z、C, 其中 R、G、B 分别是红、绿、蓝颜色分量依次占据 2 位、3 位、3 位, 共占据最高的 8 位; Z 是体素垂直于屏幕方向的相对于屏幕外表面的距离, 即深度值, 占据

10 位;C 是控制信息,占据每帧图像第一行体素的最后 2 位,其余位置零。按照上述数据生成方法,以分辨率 800×600 为例进行实验,测试其显示刷新率是否达到 24 帧/s,即人类肉眼可感受到稳定的三维图像。

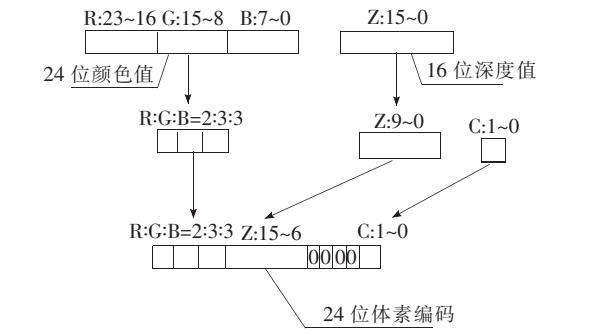


图 1 传输编码协议

Fig. 1 Coding protocol for data transmission

3 实 验

目前 3D 图形的处理,常会用到两类应用程序接口(API):OpenGL API 和 DirectX API^[5]。OpenGL 是美国 Silicon Graphics, Inc(SGI)开发的一个多用途跨平台的图形应用程序编程接口(API),是有几百个能够访问图形硬件所有性能的函数集合。DirectX 是 Microsoft 开发的一组应用程序编程接口。相比于 DirectX,OpenGL 是一个开放的三维图形软件包,它独立于窗口系统和操作系统,能方便地在各平台之间移植,且有着广泛的硬件支持。因此,本文首先选择 OpenGL 作为图形绘制处理引擎。在实验中,为方便起见,以 Visual Studio. NET 为开发环境基于 OpenGL 导入 3ds 三维模型来实现立体显示为例^[6],在 PC



图 2 OpenGL 人脸三维模型正面显示
Fig. 2 Frontispiece of 3D human face model based on OpenGL

机(CPU 为 Core2 T2050 1.6 GHz,显卡为 ATI Radeon X1300)上测试,如图 2 所示,分辨率为 800×600 ,颜色值设置为 24 位(Bits),深度值设置为 16 位。

3.1 基于 OpenGL API 处理

OpenGL 提供了双缓存技术,即应用程序将后台缓存(Back Buffer)已经绘制好的图像直接送到前台缓存(Front Buffer)中显示,显示的同时后台缓存已经开始下一帧图像的绘制,如此循环反复可以提高系统效率。如图 3 所示,首先从后台缓存中读取体素值,包括无符号 8 位整型红(R)、绿(G)、蓝(B)颜色值以及 16 位浮点型深度值(Z),然后按照传输编码协议对读取的体素数据进行编码,对于 R、G、B 3 个无符号 8 位整数可采用位运算,比如移位,按位与,按位或。对于 16 位深度值,因为是浮点型,首先转换为整型再移位。最后再将编码后的像素值(Coded Data)写入前台缓存显示即真三维显示数据的传输。

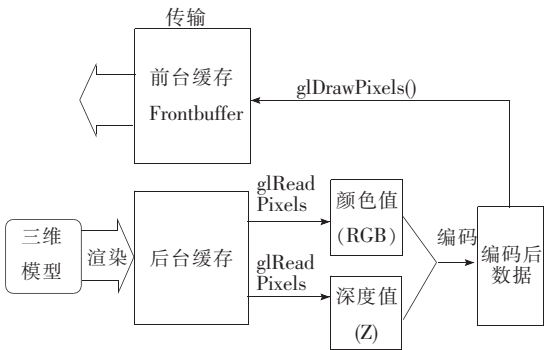


图 3 真三维显示数据生成流程图

Fig. 3 Flow chart of the true 3D display data generation

实验结果发现,显示图像的刷新率为 1 帧/s,远远低于 24 帧/s。因此对程序中读取代码、写屏代码、编码等关键代码以及可能影响程序执行效率的代码进行了速度测试。测试方法是利用计时函数 timeGetTime(),图像绘制一次,画面帧数累计加 1。当 timeGetTime()达到 1 000 ms 时,刷新率 FPS 等于此时帧数值,所有值返回初始值。如表 1 所

表 1 各部分代码分别运行时图像刷新率

Table 1 FPS relating to different code running

各部分代码	刷新率(帧/s)
glReadPixels()	28
glDrawPixels()	1
编码(未优化)	18

示,大幅度降低图像显示速度的是 `glDrawPixels()` 函数。

3.2 OpenGL 纹理贴图处理

编码后,数据写入前台缓存是基于 2D 图像显示和加速的。从文献[7]中可知,在这种情况下利用 OpenGL 纹理映射技术(纹理贴图)能提高 2D 图像的绘制速度。生成纹理的一般方法是在一个平面区域(纹理空间)上预先定义纹理图案,然后建立物体表面空间和纹理图案坐标之间的映射关系。OpenGL 定义二维纹理的函数是 `glTexImage2D()`,这里为更方便地验证,采取直接读取三维模型的 RGB 值进行纹理贴图实验。

结果显示图像刷新率为 5 帧/s。与第一种处理方法相比,纹理贴图的方法在图像刷新速度上有所提高。如图 4 所示,图中位于前面的是纹理贴图,而后面的图像是原三维模型。利用纹理贴图处理的新图像与原图像在屏幕位置上发生了偏移,纹理贴图的每个像素不能和原图像一一对应。

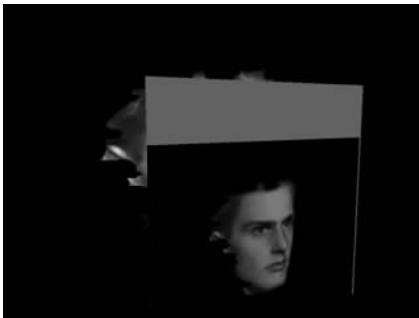


图 4 OpenGL 纹理贴图实验效果图

Fig. 4 Experimental effect drawing based on OpenGL texture mapping technology

3.3 OpenGL 结合 Windows GDI 处理

由于利用 `glDrawPixels()` 函数会影响图像显示速度,而利用纹理贴图又会产生图像偏移,即利用 OpenGL API 处理不能完全达到实验所预期的效果,所以本文进一步利用 OpenGL 结合 Windows GDI(Graphics Device Interface)进行实验。图形设备接口 GDI 是用于处理图形函数调用和驱动绘图设备的动态链接库,当应用程序调用其中的绘图函数时,GDI 决定哪些像素用当前的绘图色显示,然后输出给设备驱动器并被翻译成设备命令驱动相应的设备。由于有些 GDI 函数直接驱动硬件,所以进行图形图像处理时具有实时

性好的特点^[8]。数据生成传输流程如图 5 所示,三维模型渲染至 OpenGL 窗口的后台缓存,而 OpenGL 窗口属性设置为隐藏,读取像素数据经编码后不再写入 OpenGL 窗口的前台缓存,而是写入新的 GDI 窗口。显示图像如图 6 所示,经过测试,图像显示的刷新速度为 12 帧/s。

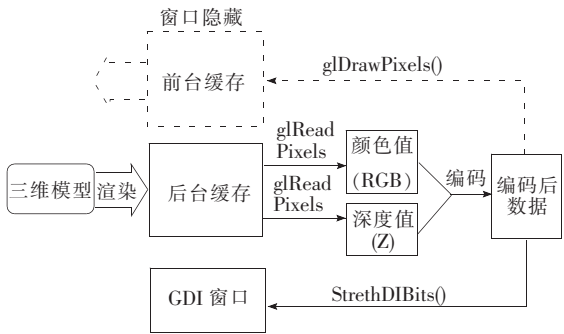


图 5 OpenGL 结合 GDI 的真三维显示数据生成流程图
Fig. 5 Flow chart of the true 3D display data generation based on OpenGL and GDI



图 6 编码后生成的图像

Fig. 6 Generated image after coding

4 优化代码

利用 OpenGL 结合 GDI 混合编程的图像刷新率为 12 帧/s。实验结果仍然没有达到 24 帧/s 的原因是没有对代码执行效率通过优化来提高。常见的优化有编译器优化和代码优化两种。

(1) 编译器优化

Visual Studio. NET 提供大量的编译优化选项,要对编译选项(`/Ot`,`/O2`,`/Oy`,`/GL` 等)进行合理的选择和搭配。选项`/Ot`是代码速度优先,但必须打开全局优化`/Og`;选项`/GL`(全程序优化)通过将代码生成延迟到链接时间来启用跨模块优化,但要求打开链接时间代码生成;`/O2`选项意味着“最大化速度”;`/Oi`选项表示以内联方

式展开内部函数。通过检验比较,找到一组比较合适的优化选项组合(/GL,/Og,/O2,/Ot,/Oi)可以提高程序代码的执行效率。实验中经过编译器优化,刷新速度提高了 8 帧/s,达到 20 帧/s。

(2)代码优化

在进行代码优化之前,采用 profile clock 工具找出程序中的“热点”代码,针对这些代码进行优化:

①开循环,增加并行执行的指令数,充分利用 CPU 的指令缓存;

②数据打包处理,即对短字长的数据使用宽

表 2 实验方法以及优化前后刷新率对比

Table 2 FPS relating to different methods

实验方法	刷新率(帧/s)
利用 OpenGL API 处理(未优化)	1
利用 OpenGL 纹理贴图处理(未优化)	8
利用 OpenGL 结合 GDI 处理(未优化)	12
利用 OpenGL 结合 GDI 处理(编译器优化)	20
利用 OpenGL 结合 GDI 处理(编译器优化+代码优化)	24

长度的存储器访问;

③Inter 体系结构 MMX 指令与 SSE 指令,完成在一个指令周期中并行处理多组数据,例如,深度值由浮点型转整型就用到 SSE2 中的 cvttss2si 指令,它在一个指令周期中将 4 个单精度浮点型数取整,从而提高了数据处理的速度;

④程序中的运算基本都为移位运算。

最后,注意程序中声明的放置、初始化列表等细节问题。代码优化后刷新速度提高了 4 帧/s,达到 24 帧/s。优化前后刷新率的对比见表 2。

5 结 论

对真三维图像数据信息的读取、压缩编码以及快速绘制进行了研究,提出一种固态体积式真三维显示数据生成的方法。通过 OpenGL 结合 GDI 处理立体图像数据信息的方法并经过编译器优化和代码优化,图像刷新率达到 24 帧/s,初步实现了真三维立体图像的实时显示。下一步的工作是完全基于 OpenGL 方式或者基于 DirectX 方式在增加图像分辨率的情况下图像刷新率能否达到 24 帧/s 或者更高。

参 考 文 献:

[1] Alan Sullivan. DepthCube solid-state 3D volumetric display [R]. Norwalk, USA: LightSpace Technologies, Inc.,2004.

[2] 姜太平,沈春林,谭皓,等. 真三维立体显示技术 [J]. 中国图像图形学报,2003, 8(A)(4):362-366.

[3] 焦甜甜,王琼华,李大海,等. 基于 3DS MAX 的集成成像研究 [J]. 液晶与显示,2008,23(4):620-624.

[4] 方勇,吕国强,彭良清,等. 3D 显示器视频转换系统设计及其 FPGA 实现 [J]. 液晶与显示,2007,22(1):94-98.

[5] D. 霍金,D 阿斯特. OpenGL 游戏程序设计 [M]. 田昱川,译. 北京:科学出版社,2006.

[6] 孙伟,张琦,郭松辉,等. 一种 OpenGL 中 3D Studio 模型的读取与控制方法 [J]. 仪器仪表学报, 2005,26(8): 93-95.

[7] 左鲁梅,黄心渊. 纹理映射技术在三维游戏引擎中的应用 [J]. 计算机仿真,2004,21(10):146-148.

[8] 於文雪,李松毅,罗立民,等. 基于 Windows GDI 的图形图像处理探讨 [J]. 计算机工程,2003,29(2):270-272.

Data Generation Method of True 3D Volumetric Display

XIA Guo^{1,2}, LV Guo-qiang^{1,2,3}, HU Yao-hui^{1,3}

(1. Key Laboratory of Special Display Technology, Ministry of Education, Hefei 230019, China, E-mail:hfut.xiaguo@gmail.com;
2. School of Instrument Science and Opto-Electronic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
3. Academe of Opto Electronic Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract

The technology of solid-state true 3D volumetric display is a new 3D display technology which is

based on the "Voxel"(Volumetric pixel). For the real-time display application in this technology, this paper describes a method of true 3D volumetric display data generation. Firstly, a 3D model was built by this method using Visual Studio. NET as a platform based on the OpenGL format; and then reading, coding and rapidly rendering of 3D image data were studied. The programs have passed compile and debug in VC++ . NET, after optimized code, it meets the requirements of the key technical indexes, and the real-time display has been realized on PC.

Key words: solid-state true 3D volumetric display technology; OpenGL; 3D model; optimized code; real-time display

作者简介:夏果(1983—),男,安徽舒城人,硕士研究生,研究方向:立体显示技术。

《液晶与显示》诚征广告

《液晶与显示》是中国科学院长春光学精密机械与物理研究所和中国光学光电子行业协会液晶专业分会主办的综合性学术期刊。主要报道国内外液晶学科和显示技术领域最新科研成果和创新技术,及时反映国内外本学科领域及产业信息动态。刊登的内容包括液晶和各类显示材料及制备方法、各类显示器件物理和制作技术、各类显示新型模式和驱动技术、显示技术应用、显示材料和器件的测试方法与技术等方面,是国内外从事液晶和显示技术工作及相关的广大科技人员必读期刊。本刊不仅是我国专业学术期刊发行量最大的期刊之一,而且参与国内外相关科技展会和交流活动。

《液晶与显示》设有广告专栏,真诚欢迎国内外科研单位、企业、商家来此发布产品、技术和服务信息,刊登仪器、设备、材料等方面的广告。本刊有精美彩页和黑白插页可供选择。

需要刊登广告的客户可电话告知您的 Fax,我们会立即将报价单传真给您,洽商确定后即与您签定正式刊登合同。

联系方式:

地 址:长春市东南湖大路 3888 号 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

《液晶与显示》编辑部

邮 编:130033

传 真:(0431)84695881

http://www.yjyxs.com

E-mail: yjxs@ciomp. ac. cn

电 话:0431-86176059 0431-84613406

联系人:付国柱