

基于 OpenGL 的三维牙颌模型可视化研究

赵越超¹, 李忠科¹, 王 勇², 吕培军²

(1. 第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025; 2. 北京大学, 北京 100081)

摘 要: 为了实现牙颌模型的三维数据可视化, 通过计算机逼真的显示牙列形态, 并进行交互测量及变形等操作。在口腔修复体计算机辅助设计中, 以 OpenGL 为渲染工具, 结合自主设计的牙颌模型三维激光扫描仪获取的点云数据, 采用基于 B 样条曲面的三维重建技术, 以 Visual C++ 为开发工具实现数字化牙颌模型的三维可视化。以 Visual C++ 和 OpenGL 为工具, 减少了程序设计难度, 提高了执行效率, 图形显示更加逼真流畅。本系统的设计满足了口腔医生的需求, 给患者带来了便利, 并促进了口腔修复体的开发制作。

关键词: OpenGL; 点云; 三维重构; 口腔修复体; 可视化

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)01-0119-03

Research of 3D Dental Visualization Based on OpenGL

ZHAO Yue-chao¹, LI Zhong-ke¹, WANG Yong², LÜ Pei-jun²

(1. The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China;

2. Peking University, Beijing 100081, China)

Abstract: To achieve the three-dimensional data visualization of dental models, use computer-simulated display of dentition, and realize interactive measurement and deformation operation, and so on. In computer aided design of dental prosthesis, takes OpenGL as an exaggerating tool, combining the acquired point cloud data from the dental 3D laser scanner which was independent designed, which adopts the 3D reconstruction technique based on B-spline, and realizes the 3D dental visualization with Visual C++ as the developing tool. Take Visual C++ and OpenGL as a tool, reduced the difficulty of the design process, improved the efficiency, smoother graphics more realistic. The design of the system meet the needs of the oral doctors, brought the convenience to the patient and promote the development of prosthodontics production.

Key words: OpenGL; point cloud; 3D reconstruction; dental prosthesis; visualization

0 引言

近年来,随着人们生活水平的普遍提高,口腔疾病逐年增加,包含牙齿种植、修补、整形等的口腔修复学得到了快速发展。同时,计算机辅助设计与制造技术的进步,使可视化技术同口腔修复体的设计制造紧密结合,口腔测量数据三维可视化技术逐渐成为目前口腔医学计算机应用的重要研究方向和研究热点,闫贺庆等进行过基于 CT 数据的三维仿真研究^[1]。该技术主要的研究内容是将抽象的数字化信息转化成可视化图形,在计算机中重构三维人工牙模型,使医生可以运用计算机清晰地观察分析牙列的形态,实现模拟显示

及交互测量调整等操作。要想获取逼真的实体效果,要经过材质、光照等一系列的处理,而这些算法复杂冗长,编写麻烦、费时。OpenGL 通过调用本身所携带的库函数,较好地解决了这类问题。文中以 OpenGL 为建模渲染工具,结合自主设计的牙颌模型三维激光扫描仪获取的扫描线点云数据,应用三维重建技术,以 Visual C++ 为开发工具实现牙颌模型的三维图形可视化。使口腔修复医生和患者对牙齿情况和修复效果都有了直观准确的认识,能够更加方便地制定双方满意的最佳医疗方案。

1 OpenGL 原理、流程

OpenGL 为 SGI 公司开发的一个开放式图形库,是硬件图形发生器的软件接口,已被认为是高性能图形和交互式视景处理的标准,应用范围逐步扩展到图形图像处理、虚拟现实、科学计算可视化、仿真等领域。它提供了一个直观的编程环境,包括矩阵变换等 120

收稿日期:2007-07-28

基金项目:国家 863 计划项目(2005AA420240)

作者简介:赵越超(1982-),男,辽宁阜新人,硕士研究生,主要从事计算机图形、智能化计算等研究;李忠科,教授,博士生导师,主要从事精密仪器与机械、计算机测量与控制等研究。

种基本的图形操作函数,简化了三维图形程序设计,开发者可以利用这些函数来构造景物模型、进行三维图形交互软件的开发。在性能上表现得异常优越,包括建模、渲染、变换、光线处理、色彩处理、动画以及交互处理能力,使软件开发者从繁重的计算中解脱,能够容易地将复杂的数据以视觉的形式表现。同时,OpenGL 没有提供复杂形体的图形函数,用户必须从点、线、面等最基本的图形单元开始构造自己的三维模型,应用这些基本的形体,可以构造出几乎所有的三维模型,图形操作函数应用灵活。

OpenGL 要求把所有的几何图形单元都用顶点来描述,这样运算器和逐个顶点计算操作都可以针对每个顶点进行计算和操作,然后进行光栅化形成图形碎片。对于像素数据,像素操作结果被存储在纹理组装用的内存中,再同几何顶点操作一样,光栅化形成图形片元。整个流程操作的最后,图形需要对一系列的片元逐个进行操作,这样最后的像素值送入帧缓冲器实现图形的显示^[2,3]。其工作流程图如图 1 所示。

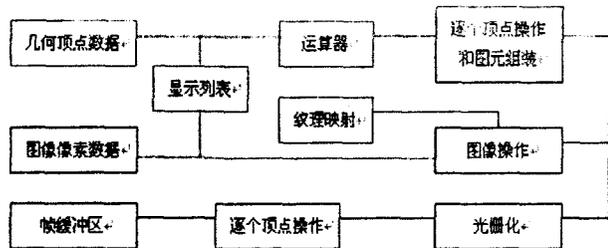


图 1 OpenGL 工作流程图

2 可视化系统的开发

2.1 可视化系统设计

三维牙颌模型可视化系统是以 VC++ 为编程开发工具,结合自主设计的牙颌模型三维激光扫描仪获取的点云数据,运用 OpenGL 技术建立模型,应用三维重建技术实现牙颌模型表面重建,将复杂的数字信息转化为容易理解的图形信息,实现三维牙颌模型的可视化。此系统可在窗口中对点云进行旋转、平移、缩放、删除杂点、曲面重建等操作,主要工作将在 MFC 视图类的 OnDraw() 函数中进行。其设计思想是依据点云数据建立牙颌的点云模型图形,继而进行三角网格化处理,然后以 B 样条曲面为基础曲面重建,模拟光照、材质等效果,实现真实感牙颌模型的可视化。流程如图 2 所示。

2.2 点云模型显示及三角网格处理

牙颌模型三维激光扫描仪对牙颌模型进行逐层扫描,获取的扫描数据为三维扫描线点云,共有 50 万个数据,存储为以牙颌模型基座中心为(0,0,0)的各点坐

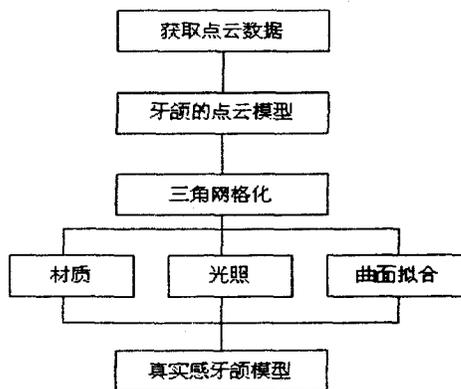


图 2 系统开发流程图

标。由于扫描过程逐层有序,虽然数据量大,但格式统一,具有较强的规律性,并且点云数据的坐标表示符合 OpenGL 输入几何顶点数据的特性。应用 OpenGL 对点云坐标直接进行几何实体绘制^[4],将显示出牙颌的点云模型图形。点云绘制在 glBegin() 和 glEnd() 之间完成,以下为 OpenGL 的基本源代码:

```
vector <float> wX;
vector <float> wY;
vector <float> wZ;
int pointsize; //点云个数
glBegin(GL_POINTS);
{
for(int i=0;i<pointsize;i++)
{
glColor3f(0.0,0.0,0.0); //设置颜色
glVertex3f(wX[i], wY[i], wZ[i]); //绘制点
}
}
glEnd();
```

以上代码虽对大量数据进行循环处理,进行几何实体绘制,但执行速度快、效率高,能够实时显示点云模型的输出及几何变换。点云模型如图 3 所示,由于牙齿结构的特殊性,所获的扫描数据存在死区,模型有

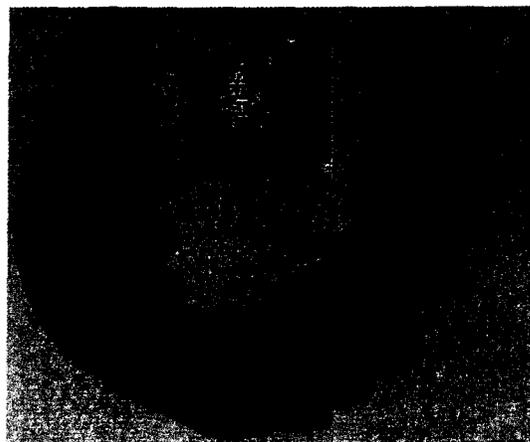


图 3 点云模型

孔洞显示。

三角网格化能够使模型具有一定的拓扑结构,能够更加形象地描述几何实体,体现局部特征。为提高数据的处理和应用效率,需对原始数据进行去噪、光顺、重采样、数据简化等数据预处理,同时根据牙颌模型的特点,采用基于径向基函数的残缺点云数据修复算法^[5],通过确定点云的孔洞区域,并使用径向基函数表示插值曲面计算孔洞内的数据点,能自动实现残缺点云的修复,自动化程度高,生产数据点与原数据融合好,效果比较明显。由于获取点云为扫描线数据,具有一定的特征,本系统采用基于扫描线的数据预处理和三角网格化方法^[6]。该方法通过确定同层扫描线和合并同层扫描线,对得到的相邻扫描线之间的点云数据进行逐次比较并优化,构造出的三角网格具有良好的品质,三角形构造均匀,连接规整良好,并且基于扫描线的点云数据提高了三角化过程中数据比较优化的速度,提高了系统整体的应用效率。同点云模型显示相似,根据重构的数据结构,OpenGL 对三角网格模型显示运用以下命令。结果如图 4 所示(经过光照材质处理),由于点云密集,模型视觉效果较好。

```
glBegin (GL_TRIANGLE_STRIP); //标志三角绘图
glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_LINE);
glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_FILL);
//绘制轮廓线式和全填充式三角形
```



图 4 三角网格化模型

2.3 曲面拟合及光照、材质

点云数据逆向模型重构时所选用的造型方法取决于点云规模、模型几何特性和曲面复杂度,并将直接决定重建模型的外观、视觉效果及显著特征的精细程度。牙颌模型点云数据庞大,模型结构复杂,重构要求精度高。常用的曲面建模方法有两类:以三角 B 样条曲面为基础的曲面构造方法和以 NURBS 曲面为基础的矩形域参数曲面拟合方法。其中三角 B 样条曲面对大数据量点云的拓扑关系具有较好的适应性,曲面品质好、执行效率高。文中应用三角曲面为基础进行曲面重构,并利用最小二乘法进行曲面拟合^[7],通过对各三角

曲面片拟合,使模型曲面过渡平滑自然,体现局部特征,符合牙颌模型可视化要求。

三角网格化和三角曲面拟合后的模型都基本符合要求,但要获取逼真的实体效果和视觉效果,还要进行光照和材质的进一步处理。对于真实物体而言,环境光、漫反射光、光源位置及模型的材质都将影响物体的视觉效果,应用以下 OpenGL 程序对光照和材质进行真实模拟,增强了重构模型的可视化效果,使牙颌模型具有真实感。如图 5 所示,拟合的曲面过渡平化,效果良好。

```
//创建 RGBA 模式下的环境光和漫反射光
GLfloat light_ambient[] = {0.0,0.0,0.0,1.0};
GLfloat light_diffuse[] = {0.0,0.0,0.0,1.0};
GLfloat position[] = {0,0,500,1.0}; //光源位置
//材质环境光和漫反射光颜色
GLfloat mat_ambient[] = {0.0,0.0,1.0,1.0};
GLfloat mat_diffuse[] = {0.0,0.0,1.0,1.0};
glEnable(GL_LIGHT0); //启动光源 LIGHT0
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_AMBIENT, light_ambient);
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_DIFFUSE, light_diffuse);
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_AMBIENT, mat_ambient);
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_DIFFUSE, mat_diffuse);
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, light_position);
//采用 Gourand 明暗处理
glShadeModel(GL_SMOOTH);
```



图 5 曲面拟合后模型

3 结论

在三维牙颌模型可视化开发中,采用 OpenGL 进行点云绘制、三角化处理、曲面拟合、光照、材质等技术处理,实现了三维牙颌模型的真实感可视化,并具有平移、旋转、缩放等基本功能。OpenGL 技术的应用减少了程序开发难度,提高了执行效率,使图形显示逼真流畅。三维牙颌模型可视化系统的实现为口腔修复体的制作开发及牙科医生的诊治带来了便利,具有较高的

(下转第 125 页)

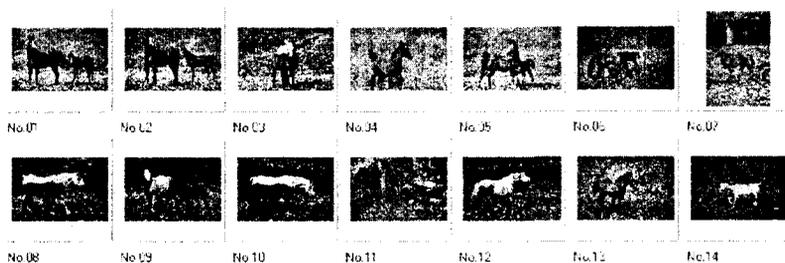


图5 文中方法检索效果 II

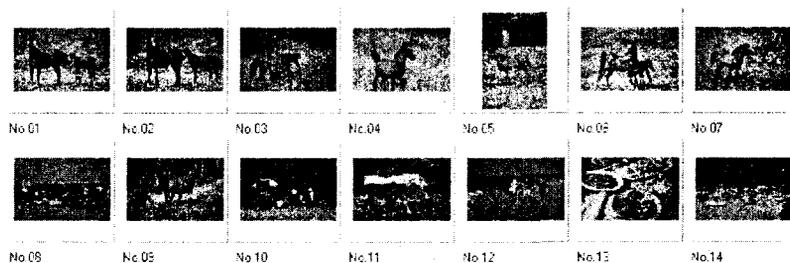


图6 颜色直方图方法检索效果 II

征,完全忽视了其它的空间分布信息,因此,误检是不可回避的,实验结果也证明采用文中在色调局部累加直方图的基础上,又融合了颜色特征的空间分布信息的检索方法具有优越性。

3 结论和进一步研究

仅基于一种图像特征的检索方法只能表达图像的部分属性,由于对图像内容的描述比较片面,缺少足够的区分信息,常常不能取得理想的检索效果。文中提出的综合颜色、空间特性的图像检索方法,通过图像中颜色以及空间相对位置进行检索。实验表明综合多种特征的图像检索方法及权重相应调整更能准确地返回用户查询的结果,要想进一步提高检索精度,应当使用图像的多个特征如颜色、纹理、形状、拓扑和语义等相结合的方法和基于人机交互的相关反馈技术来进一步

提高基于内容图像检索的精度。

参考文献:

- [1] Swain M J, Ballard D H. Color indexing [J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11 - 32.
- [2] Hanfner J, SawHney H S. Efficient color histogram indexing for quadratic from distance Functions [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(7): 729 - 736.
- [3] Pass G, Zabih R. Histogram refinement for content - based image retrieval [C]//In: Proc of the Workshop on Applications of Computer Vision. Sarasota, Florida: [s. n.], 1996: 96 - 102.
- [4] Huang J, Kumar S R. Image indexing using color Correlograms [C]//In Proc IEEE Conf on Computer Vision and Pattern Recognition. San Juan, Puerto Rico: IEEE Computer Society, 1997: 762 - 768.
- [5] Messer K, Kittler J. A region based image database system using color and texture [J]. Pattern Recognition Letters, 1999 (20): 1323 - 1330.
- [6] Wu Wei. A Multilevel thresholding algorithms for image segmentation Based on maximum fuzzy entropy [J]. Systems Engineering and Electronics, 2005, 27(2): 357 - 360.
- [7] Chen Yixin, James Z, Krovetz R, et al. CLUE cluster - based retrieval of images by unsupervised learning [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005(8): 1187 - 1189.
- [8] Liu Ying, Zhang Dengsheng, Lu Guojun, et al. Study on Texture Feature Extraction in Region - Based Image Retrieval System [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006 (6): 264 - 270.

(上接第 121 页)

应用价值。下一步将在可视化模型的变形处理方面进行研究,更多地模拟仿真口腔修复功能。

参考文献:

- [1] 闫贺庆,尚 鹏,魏 斌,等. 牙列缺损修复的三维几何仿真及应用 [J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(1): 40 - 43.
- [2] 廖朵朵,张华军. OpenGL 三维图形程序设计 [M]. 北京: 星球地图出版社, 2004.
- [3] 和平鸽工作室. OpenGL 高级编程与可视化系统开发——系统开发篇 [M]. 第 2 版. 北京: 中国水利水电出版社,

2006.

- [4] 蔡润彬,潘国荣. 关于 OpenGL 在激光扫描数据处理中的应用研究 [J]. 测绘通报, 2006(9): 19 - 22.
- [5] 陈飞舟,陈志扬,丁 晨,等. 基于径向基函数的残缺点云数据修复 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(9): 1414 - 1419.
- [6] 陈志扬,潘如刚,叶修梓. 逆向工程中复杂拓扑关系的三角网格构造 [J]. 计算机应用研究, 2005(1): 232 - 234.
- [7] 张晓娟,李忠科,赵 静,等. 牙冠的三维点云数据重建技术研究 [J]. 计算测量与控制, 2006, 14(10): 1401 - 1403.