

1 概述

计算机图形学 (Computer Graphics): 计算机图形学是研究用计算机表示、生成、处理和显示图形的原理、算法、方法和技术的一门学科。

IEEE(电气和电子工程师协会): Computer graphics is the art or science of producing graphical images with the aid of computer.

ISO(国际标准化组织): 计算机图形学是一门通过研究通过计算机将数据转换为图形, 并在专门显示设备显示的原理方法和技术的学科. 它是建立在传统图学理论、应用数学及计算机科学基础上的一门边缘学科。

2 三维物体的形体几何模型与表示

三维物体几何建模与表示的内涵: 三维物体 计算机表示的数据结构与存储结构; 三维物体 几何形状数据的存储。

2.1 多边形网络模型与表示

多边形网络表示的基本单元: 多边形平面。

多边形平面的定义: 由空间点集 (顶点) 和点之间的拓扑关系 (边) 定义。

足够多的多边形平面可以无限逼近三维物体表面几何形体。

物体表面特征: 透明度、表面反射系数、纹理坐标等, 可用多边形网络的 顶点属性、边属性和多边形属性 所定义。

多边形网格表示要求满足 一致性约束。

多边形网格表示的概念: 层次分解 与 存储结构设计。

多边形网格表示的基本特点: 构造简单, 可表示任意三维物体表面几何形体; 已形成完善有效的 明暗处理方法、硬件可实现; 表面几何形体表示精度与多边形网格数量成正比; 表示精度可伸缩 是多边形网络模型的 追求; 可编辑 是多边形网格表示的 挑战。

2.2 曲面片模型与表示

曲面片由 精确参数表示, 其面上的每个点都有定义; 具有 三维形状编辑能力, 是 CAD 交互式设计基础; 可能是一种更经济的物体几何形状表示法。

2.3 构造实体几何模型 (CSG: Constructive Solid Geometry)

CSG 使用 三维基本构造块组合构建 的一种 三维物体形体层次表示。CSG 是一种分解表示的 有序二叉树, 叶子节点 是 体素或形体变换参数, 分支节点 是 正则集合运算或几何变换操作。

构造实体几何表示 流行于交互式 CAD 领域.

CSG 模型表示的主要特点: 正则集合运算 (正则并、正则交、正则差) 和集合变换 描述三维物体组成过程; 隐含表示形体几何边界元素; 需特殊绘制或多边形网络转换; 支持实现交互式实体建模.

2.4 空间细分表示

把三维物体所在的整个世界空间细分为更小的立方体基元, 按是否在物体中标记 每一个**体素 (Voxel)**. 体素的数据组织存储是八叉树, 八叉树编码可用于表示三维实体内部的分层树形结构. 八叉树保持体素空间信息以及稀疏性, 可以转换为二叉空间分区树 (BSP).

虽然三维物体表示的选择和使用受多种因素影响, 但考虑技术成熟度和计算资源, **多边形网络**是交互图形引擎**最普及**支持的三维物体表面几何形体表示模型.

3 三角网格的几何计算

3.1 三角网格及其存储表示

三角网络模型用三角形组成的**面片列表**近似三维物体表面几何形体.

三角网络模型的两种典型存储: 三角形网络模型的**线性表结构**-obj 文件格式; 三角网络模型的双向链表**边表结构** (half-edge 半边结构).

3.2 三角网格的生成

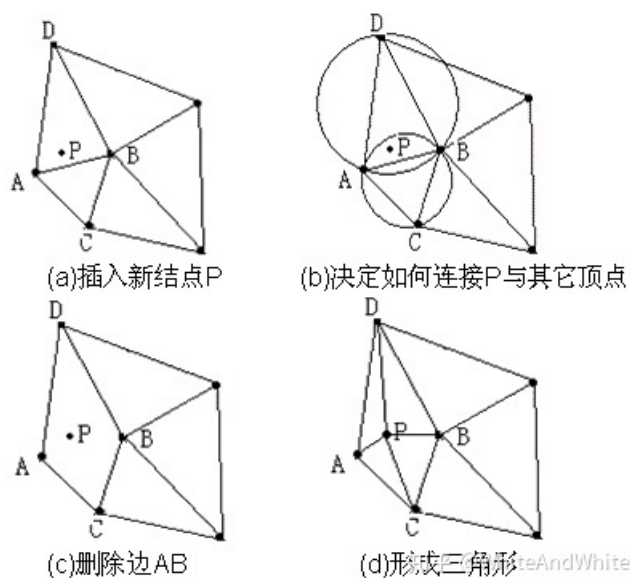
现有**传感器获取**物体表面离散点的空间坐标, 对区域内的一组给定点, **Voronoi(沃若诺依)**图是对区域内给定一组基点的单元分区; **Delaunay(德洛内)**三角剖分完成区域内对给定基点的拓扑连接, 形成三角形闭合平面.

三角网格生成的本质: 将三维物体表面划分为一组三角形面片.

(1) Voronoi 图生成的**泰森法**: 1. 构建 Delaunay 三角形; 2. 选择一个点的所有相关三角形; 3. 计算每个三角形的外接圆心; 4. 连接圆心.

(2) 二维平面 Delaunay 三角剖分的**空圆特性**: 两个共边三角形, 任意一个三角形的外接圆中都不能包含另一个三角形的顶点.

(3) 二维平面 Delaunay 三角剖分的增量构造算法, **Lawson 算法**: 先构造一个超级三角形, 然后每次插入一个点, 找到外接圆包含它的三角形, 删除公共边, 在全部连起来, 过程如下图.



3.3 网络简化

在保持三角形网格对三角形物体表面形体几何逼近条件下, 减少网络的顶点、边和多边形面片数量.

网络简化的三种技术: **顶点删除法、边折叠法和面片收缩法**.

3.4 网络细分

用更多的**较小网格面**代替原有曲面, 更加逼近物体表面几何形状. 需要确定**几何规则**和**拓扑规则**:

几何规则: 用于计算新顶点**位置**.

拓扑规则: 用于确定新顶点的**连接关系**.

Loop 细分 (一种细分算法): 1-4 三角形分裂法, 即将一个三角形面片分为四个新三角形面片. 思想: 将三角形的每个边上新增一个顶点, 把同一三角形内的新增顶点连接组成四个三角形 (如下图所示).



https://blog.csdn.net/qq_31804159

4 多边形网格的三维物体绘制

4.1 多边形网格渲染流水线

渲染流水线是指将多边形网格表示的三维物体表面形体 转化为能在设备上显示的、经过明暗处理的像素亮度计算 过程.

涉及模型坐标空间、世界坐标空间、观察坐标空间、设备坐标空间.

对应三维物体的模型变换、观察变换和投影变换.

4.2 可见面判定和隐藏面消除

由于投影变换使得三维物体失去了深度信息, 真实感绘制必须消除被遮挡的不可见线或面, 在二维显示设备 中将三维物体的可见面表示出来.

Z 缓存算法 (Z-buffer): 最简单的可见面判定算法;

光线投影算法: 最自然的消隐算法;

深度排序算法 (画家算法): 最偷懒的消隐算法.

4.3 多边形网格裁剪

网格裁剪的理由: 显示设备的视窗大小固定, 显示实体范围有限, 避免无效计算, 节省计算资源.

(1) 二维直线段裁剪: Cohen-Sutherland; 梁友栋-Barsky; Nicholl-Lee-Nicholl.

(2) 二维多边形裁剪: Sutherland-Hodgeman, 问题: 对凹多边形裁剪可能会产生多余的边.

(3) 三维视见体与三维线段裁剪: 定义端点 6 位区域编码的三维线段裁剪方法.

5 图元的光栅化计算

5.1 数学图元的像素扫描转换

讨论将无限点构成的数学图元转化到有限像素图形逼近的扫描变换方法.

(1) 直线扫描转换 的基本增量算法. (数值微分 DDA 法)

(2) 直线扫描转换 的中点线算法.

(3) Bresenham(布雷森汉姆)直线扫描转换 算法.

(4) 中点画圆法.

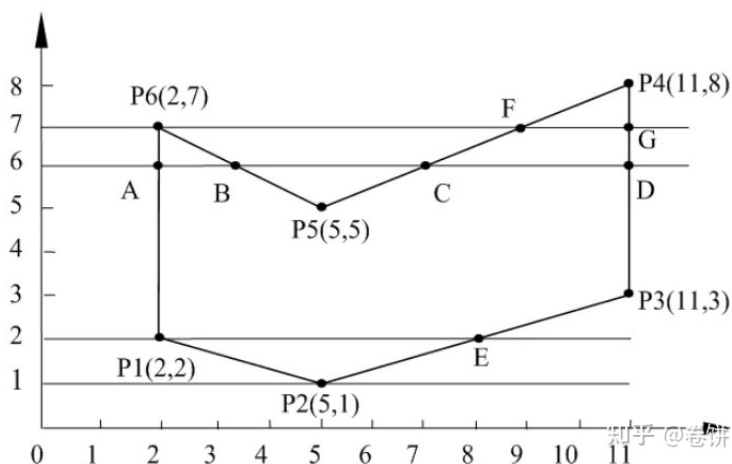
5.2 多边形扫描转换与区域填充

多边形扫描转换对多边形形状无限制, 但多边形边界必须是封闭的, 且不自交的.

典型的三种多边形: 凸多边形、凹多边形、内含环多边形.

多边形扫描线填充算法: 按照扫描线顺序计算计算相交区间, 设置区间像素的亮度值. 过程如下:

- (1) **求交:** 计算扫描线与多边形各边的交点;
- (2) **排序:** 把所有交点按 x 值递增排序;
- (3) **配对:** 确定交点对, 区分扫描线与多边形的一个相交区间;
- (4) **着色:** 把相交区间内像素设置为指定颜色.



5.3 走样与反走样

走样: 在光栅显示中, 用离散量表示连续量引起的失真现象.

反走样: 减轻或除去走样的技术.

反走样基本策略: 提高分辨率 (子像素 是方法之一), 像素采用不同的灰度值 (加权区域采样 是确定像素灰度值的方法之一).

6 局部光照模型与明暗处理

讨论绘制图像的像素亮度计算原理与方法. 局部光照模型是计算三维物体表面光强度的物理依据.

6.1 局部光照模型: 像素级光强计算

局部光照模型是建立在物体不透明, 仅考虑光源直接照射物体表面 时的光传播过程.

模拟物体表面光的传播包括: 入射光, 环境光, 理想漫反射光, 非理想镜面反射光.

影响物体光强表面光强的因素包括: 物体表面几何形状, 光源, 环境 (遮挡, 反射与折射), 视点位置, 物体表面属性 (材料, 光洁度等).

- (1) 简单光照模型 - 环境光.

- (2) 理想漫反射模型.
- (3) 非理想镜面反射模型.
- (4) Phong(裴祥风) 光照明模型.

6.2 插值明暗处理: 多边形表面光强计算

插值明暗处理是在对象空间以多边形为基本单元计算物体表面的光强度.

仅仅按像素亮度计算会产生马赫带效应, 插值明暗处理方法可以避免邻接多边形间的光强不连续性 (发生走样).

- (1) Gouraud(高洛德) 明暗处理方法.
- (2) Phong 明暗处理方法.

7 表面纹理映射技术

表面纹理映射技术能够丰富物体表面细节的真实感.

颜色纹理: 各种花纹、图案和文字, 如大理石墙面、字画、器皿图案等图像数据.

几何纹理: 基于景物表面微观几何形状的表面纹理, 如桔子、树干、岩石等表面呈凸凹不平的纹理细节.

过程纹理: 表现各种规则或不规则动态变化自然景象, 如水波、云、火、烟雾.

7.1 二维纹理映射过程

二维纹理映射过程: 将二维纹理图像映射到三维物体空间, 再将物体投影到屏幕空间的变化过程.

本质: 建立纹理空间与物体空间的映射关系.

反向映射: 借助物体空间与纹理空间的映射关系, 实现观察平面空间的像素求值.

纹理空间坐标计算方法: (1) 双线性插值法; (2) 中间表面法.

S 映射: 完成纹理空间与三维中间表面空间的映射.

O 映射: 进行中间表面与物体空间的关联映射.

7.2 凹凸映射技术

问题: 对物体表面采取微小扰动, 从而引起物体表面法向变化, 导致表面光亮度计算值突变.

解决: 利用人类视觉的马赫带效应从而产生表面凸凹不平的真实感绘制渲染效果.

(1) 几何扰动法. (2) 法向扰动法.

实例: 特定人脸网络模型重建与纹理映射算法应用.

8 几何阴影生成

几何阴影强化物体间空间关系, 增加绘制图像的立体感和场景真实感.

- (1) 投影多边形/扫描线方法.
- (2) 阴影体算法.
- (3) 从光源变换导出阴影多边形方法.
- (4) 阴影 Z 缓冲器算法.

9 全局光照模型

考虑环境漫反射、镜面反射和规则投射对景物表面产生的整体照明效果.

物体表面入射光的构成: 光源直接照、其他物体的反射光、透射光.

模拟光照全局交互方法:

1. 光线追踪法, 关注物体表面的完全镜面交互, 从光源开始, 跟踪每一条光的路径穿过环境, 直到光线击中视点为止;
2. 辐射度方法, 关注物体表面的完全漫反射交互, 假设光能在所有方向上进行等量反射, 形成一个以反射点为中心的半球.

9.1 Whitted 光线追踪方法

模拟物体表面的镜面反射、规则透视和光源直射的全局光照效果. 适用于光滑表面, 非光滑表面不理想.

9.2 光能辐射度方法

基本原理: 1. 能量守恒; 2. 整个封闭空间的光能分布达到平衡状态; 3. 场景的明暗变化反映了场景各面片辐射度的大小的变化.

局限性: 1. 场景中的镜面物体不能用辐射度绘制处理; 2. 使用辐射度方法前, 场景必须被离散化.

10 三维曲线与曲面表示

10.1 曲线与曲面的参数表示

样条 (spline): 由多个曲线段连接而成的复合曲线;

插值样条曲线: 给定一组有序控制点 构造的一条顺序通过这些控制点的曲线.

逼近样条曲线: 给定一组有序控制点构造的一条在某种意义下最接近控制点的曲线(不一定通过控制点).

样条曲线段的连续性条件: 参数连续性、几何连续性;

参数曲线曲面的三种等价数学描述: 边界条件、特征矩阵和基函数 表示.

10.2 典型三次插值样条曲线

10.2.1 自然三次样条曲线

给定 $n + 1$ 个控制点, 通过 n 个三次多项式曲线通过控制点, 相邻曲线段在连接点处有相同的一阶和二阶导数.

10.2.2 Hermite 样条曲线

由给定控制点和每个控制点切向量约束, 确定的通过每个控制点的分段三次多项式曲线, 构成一条 Hermite 样条曲线.

10.2.3 Cardinal 样条曲线

不同余 Hermite 样条曲线, Cardinal 样条控制点的切向量正比于两个相邻控制点形成的弦, 引入一个张量参数控制样条与输入控制点间的松弛度.

三次 Bezier(贝塞尔) 曲线和 B 样条曲线是两种典型的三次逼近样条曲线.

10.3 Bezier 曲线

Bezier 曲线将函数逼近论和集合表示结合, 使用一定数目控制点构造参数曲线.

三次 Bezier 曲线的基函数表示和基本特性;

三次 Bezier 曲线段拼接的复杂样条曲线构造;

抛物线三切线定理;

三次 Bezier 曲线的集合作图法涵义和曲线上点的递推计算方法.

10.4 B 样条曲线

B 样条的曲线多项式次数独立于控制点数目, 多项式系数由少数几个控制点决定, 具有局部控制性.

三次 B 样条曲线的基函数表示、B 样条曲线的基本特性;

三次 B 样条曲线段拼接的复杂样条曲线构造;

B 样条曲线类型: 均匀 B 样条曲线、准均匀 B 样条曲线、非均匀 B 样条曲线.

10.5 Bezier 曲面

三维曲面: 两条曲线的笛卡尔积产生.

双三次 Bezier 曲面片的参数表示, 曲面片的连接.