




医学影像分析

Medical Image Analysis

王宽全
教授•博士生导师

哈尔滨工业大学•感知计算研究中心•计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

第12章 体绘制原理和主流算法介绍

哈尔滨工业大学•感知计算研究中心•计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

- 体绘制简介
- 抛雪球算法
- 光线投射法
- GPU加速原理

哈尔滨工业大学•感知计算研究中心•计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

- 体绘制简介
- 抛雪球算法
- 光线投射法
- GPU加速原理

哈尔滨工业大学•感知计算研究中心•计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

回顾与概述

表面绘制是绘制不透明物体，即假设物体在其表面反射、散射，而没有光线射入它们内部。

虽然绘制不透明物体很有用，但在很多应用中，绘制透明/半透明物体也很重要，这使我们可以看到表面所围区域的内部。



例如使皮肤半透明，能够看到内部的器官。

哈尔滨工业大学•感知计算研究中心•计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

医学图像可视化技术主要分为三类：

- (1) 反射式显示
- (2) 透射式显示
- (3) 断层（剖面）显示

体绘制技术是一种透射式显示，一般也称为Volume Rendering。

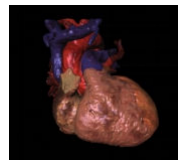
哈尔滨工业大学•感知计算研究中心•计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

1.什么是体绘制?

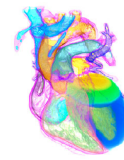
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

体绘制形成的图像一般是**半透明的图像**，颜色一般是人工指定的**伪彩色**。

体绘制首先需要对数据进行分类处理，不同类别赋予不同的颜色和透明度值，然后根据空间中视点和体数据的相对位置确定最终的成像效果。



面绘制



体绘制

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

体绘制以“物体对光的吸收原理”为理论基础，基于透明度图像合成，将所有的三维体数据细节同时展现在二维图片上。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

2.面绘制vs体绘制

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

面绘制：可以用较快的速度绘制出物体的**表面信息**，适合绘制结构简单的物体。

体绘制：可以很好地保留物体**内部信息**，适合绘制结构复杂、多层次的物体。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

面绘制：

并非所有的体素都会对最终图像有贡献，可能会由于选择了错误的等值面信息而漏掉数据的最重要部分。

体绘制：

所有的体素都会对生成的图像有贡献。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

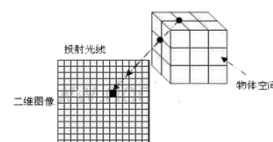
- 体绘制简介
- **抛雪球算法**
- 光线投射法
- GPU加速原理

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

抛雪球算法(Splatting)

又称为**对象顺序**绘制、体素投影法。

从体数据的每个体素出发，计算体数据内部每个体素重建后对屏幕像素的贡献值，最终获得绘制效果。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

抛雪球算法(Splatting)

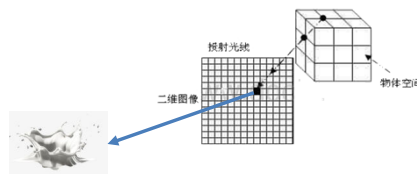
这个方法模拟了雪球被抛到墙壁上所留下的一个扩散状痕迹的现象，因而取名为“抛雪球法”。

该方法把数据场中每个体素看作一个能量源，当每个体素投向图像平面时，用以体素的投影点为中心的重建核将体素的能量扩散到图像像素上。

反复对体素的投影叠加效果进行运算。它用一个称为足迹的函数计算每一体素投影的影响范围，用高斯函数定义点或者小区域像素的强度分布，从而计算出其对图像的总贡献，并加以合成，形成最后的图像。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

这种方法之所以叫溅射是因为把能量由中心向四周逐渐扩散的状态形象地比喻为溅射的雪,就好像把一个雪球(体素)扔到一个玻璃盘子上,雪球散开以后,在撞击中心的雪量(对图像的贡献)最大,而随着离撞击中心距离的增加,雪量(贡献)减少。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

抛雪球算法

- 抛雪球算法是较早体绘制算法。已被光线投射法取代。
- 只做简单了解，重点讲解光线投射法。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

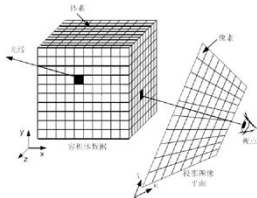
- 体绘制简介
- 抛雪球算法
- **光线投射法**
- GPU加速原理

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光线投射算法(Ray-casting)

又称为图像顺序绘制。

从屏幕的每个像素出发，计算每个像素所投射出的光线穿越体数据后采样获得的叠加值，获得绘制效果。



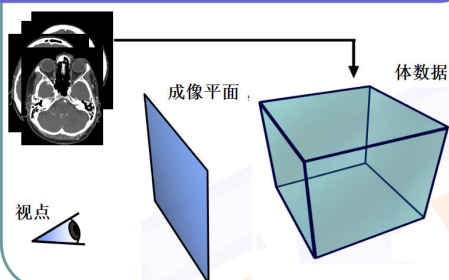
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

基本步骤

- 从图像的每一个像素出发，沿固定方向(从视点 to 图像序列最表面的外层像素)引射一条光线，光线会穿越整个图像序列；
- 沿着光线方向等距离采样，利用线性插值计算出采样点的颜色值和不透明度；
- 接着按照从前到后或从后到前的顺序对光线上的采样点进行合成，计算出这条光线对应的屏幕上像素点的颜色值，也就是渲染图像的成像结果。

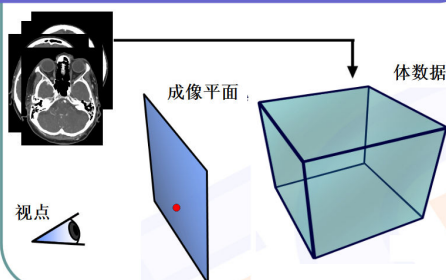
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光线投射算法原理



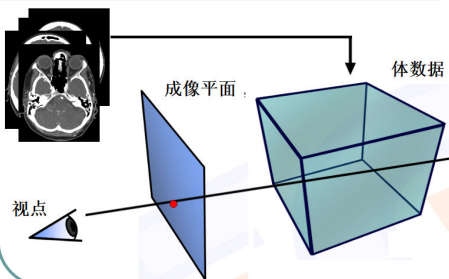
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光线投射算法原理



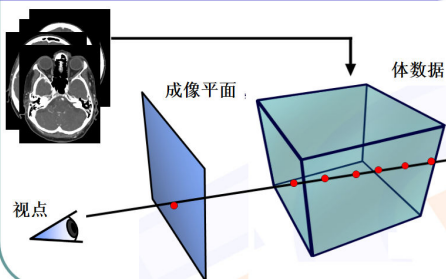
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光线投射算法原理

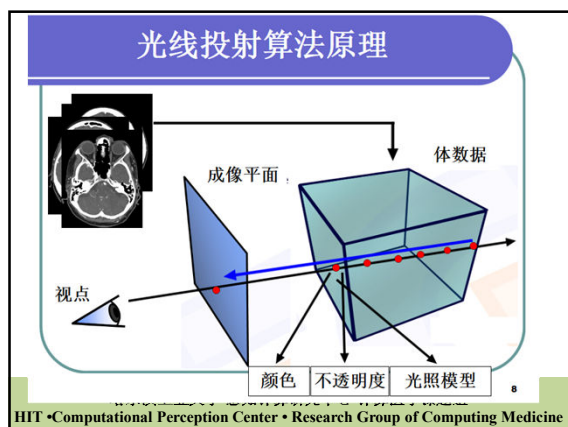


哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光线投射算法原理



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



光线投射算法(Ray-casting)

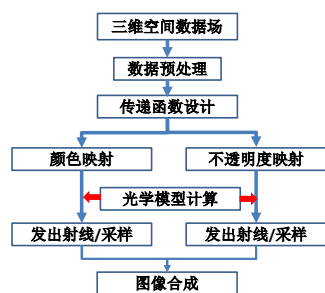
光线投射算法主要有如下的过程：

- (1) 数据预处理
- (2) 数据场到光学场的映射（传递函数）
- (3) 光学模型计算
- (4) 光线投射与图像合成

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光线投射算法流程图



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

数据预处理

在数据获取阶段得到粗数据通常不能够马上用于可视化，可能存在的问题包括：存在噪声或者是数据大小不符合后续步骤的要求。所以可以对数据进行去**噪声**、**下采样**等前期加工。

然而数据所代表的属性还是无法直接在计算机的屏幕上显示出来。这些数据还需要映射成为能够传递具体信息的视觉表达。这一过程就叫做映射(Mapping)，或者叫做**传递函数设计**。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

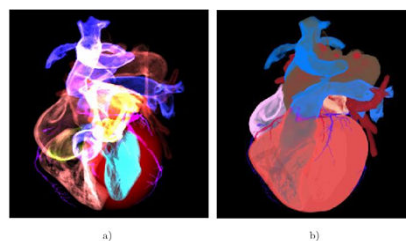
传递函数设计

- ◆ 传递函数设计是体绘制算法的核心。传递函数表示的是一种三维数据场的数据属性到光学场的光学属性的映射。
- ◆ 数据属性通常包括体数据的标量值，及一阶或高阶导数或其衍生物。
- ◆ 光学属性则对应渲染流程中光学场中的属性，如**颜色值**，**不透明度值**等。因此，传递函数设计将对体绘制算法最终渲染结果的好坏有着重要影响。基于其在体绘制过程中的重要作用。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

传递函数设计



不同传递函数设计在心脏数据上的绘制效果

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

传递函数设计

在获取数据并对体数据进行预处理以后，将体素分类并为每一个体素赋予光学属性。将体素的值映射成为光学属性的映射关系叫做传递函数(Transfer function)，也叫作传输函数或者转换函数。

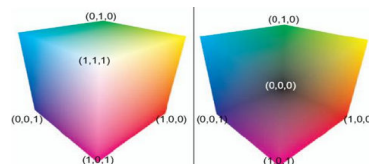
$$f(s) \rightarrow (r, g, b, a)$$

其中，s表示体素的标量值。r, g, b, a分别表示该标量值对应的红、绿、蓝以及不透明度。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

传递函数实现颜色映射

- 对体数据的标量属性进行操作：根据数据集中各个部分不同的标量值，对各个部分上不同的颜色。
- 例如，下面这个立方体，我们用它的顶点坐标代表RGB颜色，其他部分由线性插值得到。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

交互式传递函数设计

- 交互式传递函数设计方法是一种以用户需求为指引的传递函数设计方法，用户可以对传递函数的映射关系进行调整（例如调整查找表），体绘制算法根据用户新调整的传递函数实时更新绘制结果。
- 该方式适用于可视化、计算机图形学以及动画的交互式参数调节方法。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

非交互传递函数设计

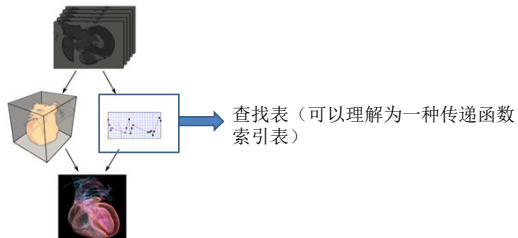
非交互式传递函数是一种自动的固定传递函数，往往分为以下两种：

- 一维传递函数：以标量值作为设计传递函数的依据是最简单的一维传递函数的设计方法。然而，体数据的空间属性对于数据来说也是非常重要的，但是传递函数本身并不能反应每个体素的空间位置，所以仅仅通过标量的值来决定传递函数，不能很好地表达体数据中包含的空间信息。
- 其他传递函数：一些新的传递函数设计方法往往基于梯度、导数、二阶导数、可视度直方图、沿着梯度的方向计算每个采样高(H)低(L)值等。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

传递函数设计案例（交互式）

- 基于查找表的传递函数
- 一般用户可以通过调整查找表来灵活表现可视化效果。

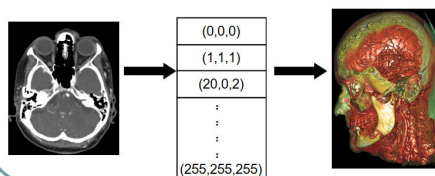


哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光线投射算法原理

颜色索引表

- 颜色索引表的作用是将图像中像素的灰度转换成光学信息中的颜色。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光线投射算法原理

● 不透明度索引表

- 不透明度决定了，那写重建部位可以显示出来，那些被隐藏掉。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

传递函数设计案例（非交互式）

◆ 基于梯度的传递函数（针对灰度标注体数据：单通道的标注体数据）

◆ 梯度一般比较擅长表示图像边界，梯度化过程为：

$$f(x) = \begin{cases} x, & \forall x_i \in \Omega_6 \mid x > x_i, x < x_i \\ 0, & \forall x_i \in \Omega_6 \mid x = x_i \end{cases}$$

$$\text{Voxel_opacity}(x) = f(x) / 255$$

其中， Ω_6 表示该像素点的6邻域，当像素点和周围任意一点不相等时，该点为边界点，保留该像素点的值；否则为内部点，将其置零。

颜色映射：通过针对每个标量值指定固定的颜色实现。

不透明度映射：通过对梯度化进行归一化，将归一化的结果映射为不透明度

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

可视化效果

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

传递函数设计案例（非交互式）

◆ 基于颜色距离梯度的传递函数（针对彩色体数据：三通身体数据）

$$\text{color_distance}(c1, c2) = \sqrt{(c1 \cdot r - c2 \cdot r)^2 + (c1 \cdot g - c2 \cdot g)^2 + (c1 \cdot b - c2 \cdot b)^2}$$

梯度向量表达为：

$$\text{grad}(\text{voxel}) = \begin{cases} \text{grad}.x = \text{color_distance}(\text{color_vol}[x-1][y][z], \text{color_vol}[x+1][y][z]) \\ \text{grad}.y = \text{color_distance}(\text{color_vol}[x][y-1][z], \text{color_vol}[x][y+1][z]) \\ \text{grad}.z = \text{color_distance}(\text{color_vol}[x][y][z-1], \text{color_vol}[x][y][z+1]) \end{cases}$$

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

传递函数设计案例（非交互式）

◆ 颜色映射：针对彩色体数据，颜色不做转变，直接为原始数据的颜色值。

◆ 不透明度映射：在体绘制传递函数的设计中，增强具有某个特性的连续区域的边界或者其过渡区域是非常具有现实意义的。在设计不透明度传递函数时，与灰度体数据的梯度相比，彩色体数据的梯度向量并不是很好利用。一些研究人员提出可以直接使用梯度的幅值进行不透明度传递函数设计，这种方式使得像边界这种梯度赋值大的地方将具有较大的不透明度：

$$\text{voxel_opacity} = \frac{\|\text{grad}(\text{voxel})\|}{\|\text{grad}(\text{voxel})\|_{\max}}$$

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

传递函数设计案例（非交互式）

◆6邻域梯度最大值作为不透明度

$$\text{voxel_opacity} = \max_{i=1}^6 \left[\frac{\|\text{grad}(\text{voxel}_i)\|}{\|\text{grad}(\text{voxel})\|_{\max}} \right]$$

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

传递函数设计案例（非交互式）

◆6邻域梯度最小值作为不透明度

$$\text{voxel_opacity} = \min_{i=1}^6 \left[\frac{\|\text{grad}(\text{voxel}_i)\|}{\|\text{grad}(\text{voxel})\|_{\max}} \right]$$

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

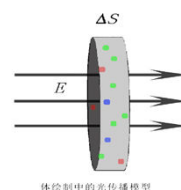
基于颜色距离梯度的传递函数效果



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光学模型计算

体绘制方法要解决的根本问题是计算每一个像素对于最终绘制结果的贡献，我们需要利用光学模型来模拟在介质中传播的光线和三维空间中的粒子的相互作用。从物理学的角度模拟透明度的概念，接下来我们介绍一种常用的光学模型：**光线吸收模型**。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光学吸收模型

该模型假设途中的粒子都是大小相同的球体，其中 r 表示球体的半径，其投影面积为 $A = \pi r^2$ 。令 ρ 表示单位体积内的粒子密度。取一个圆柱形薄片，设其截面积为 E ，厚度为 Δs 。则圆柱体薄片的体积是 $E \cdot \Delta s$ 。则该体积内的粒子总数 $N = \rho E \cdot \Delta s$ 。

当光线以垂直于圆柱体的方向入射时，如果 Δs 的值很小，那么投射到圆柱体内的粒子之间相互覆盖的概率就很小，因此我们假设粒子之间无覆盖，则粒子所占的总面积近似可以表达为 $NA = \rho AE \cdot \Delta s$ 。于是投射到圆柱体的截面上的光线被全部粒子吸收掉的部分可以表达为 NA/E ，如公式所示：

$$(\rho AE \cdot \Delta s)/E = \rho A \cdot \Delta s$$

假设入射光线的总强度为 I ，被粒子吸收的部分为 ΔI ，那么有公式：

$$\frac{\Delta I}{I} = \rho A \cdot \Delta s$$

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光学吸收模型

当满足条件 $\Delta s \rightarrow 0$ ，那么圆柱体内的粒子在空间上相互遮挡的概率也接近于零，于是

$$\frac{dI(s)}{ds} = \rho A \cdot \Delta s = -\tau(s)I(s) \quad (1)$$

其中 s 表示光线投射方向的长度， $I(s)$ 表示光线在距离 s 处的强度， $\tau(s) = \rho A$ 表示光线在 s 处的衰减系数。

如果 I_0 表示光线进入圆柱体时的光线强度， s_0 表示光线从空间进入体数据的位置，那么(1)的解可表示为：

$$I(s) = I_0 \exp\left(-\int_{s_0}^s \tau(t) dt\right)$$

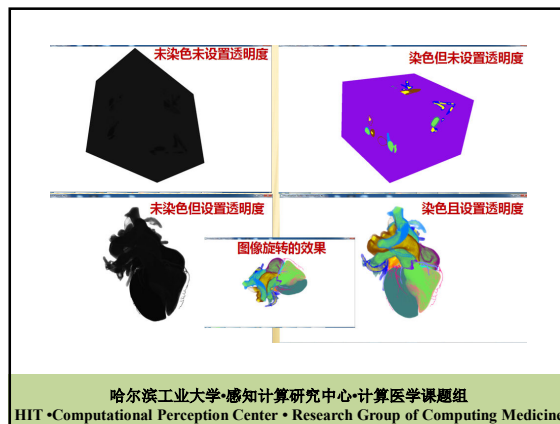
令 $T(s_0, s) = \exp\left(-\int_{s_0}^s \tau(t) dt\right)$ ，则 $T(s_0, s)$ 表示光线经过圆柱体的边缘 s_0 到达 s 这段距离后光线的强度，也称为透明度。于是如果我们定义 α 表示在 s 处的不透明度在不透明度的计算公式如下：

$$\alpha = 1 - T(s_0, s) = 1 - \exp\left(-\int_{s_0}^s \tau(t) dt\right)$$

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

不透明度是光学模型中的重要概念
计算机如何让不透明度表达为像素值（或者彩色空间中的RGB值）？

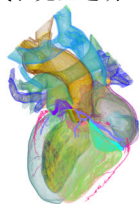
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



不透明度(Opacity)

物体阻隔光穿透自己的能力
用 α 表示， $\alpha=1$ 代表完全不透明， $\alpha=0$ 代表完全透明。

※不透明度在体绘制中十分重要



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

Alpha混合技术

透明物体的渲染，本质上是将透明物体的颜色和其后面物体的颜色进行混合。从而实现最终的显示！

※(Red, Green, Blue, Alpha): 表示32位色。
其中前24位(R8,G8,B8)用来保存颜色信息，最后8位用来保存Alpha信息，Alpha信息就是透明度。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

不透明度对颜色的影响方式

给定两个点P1、P2，
其RGB颜色分量分别为 $(r1,g1,b1)$ 和 $(r2,g2,b2)$ ，
假定P1位于P2的后面，P2的透明度为 $a(0\%<a<100\%)$ ，
计算透过点P2看到P1的颜色值。假定该值为 (r,g,b) ，
其计算公式如下：

$$\begin{aligned} r &= (1-a)*r2+a*r1=r2+a*(r1-r2); \\ g &= (1-a)*g2+a*g1=g2+a*(g1-g2); \\ b &= (1-a)*b2+a*b1=b2+a*(b1-b2); \end{aligned}$$



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

光线透射的采样方法

因为体数据基本单元是体素，标量值在顶点上定义，
光线穿越体数据时，有以下两种采样方法：

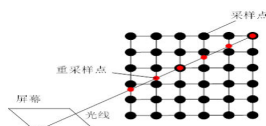
- (1)（沿着光线）均匀间隔采样
- (2) 逐个体素穿越

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

(1) 均匀间隔采样

光线与体数据前后两个平面的交点之间可以获取**等距的K个采样点**，但一般情况下，有些采样点并不处在体数据中已知的网格体素上，如图所示。

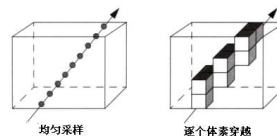
为了得到这些点的信息，需要对其周围的已知点运用**线性插值**的方法进行重采样，以得到该点对应的颜色值和不透明度值。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

(2) 最近邻采样

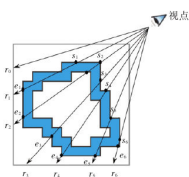
与均匀采样不同，这种方法不通过插值计算沿光线通路的数据，而是对经过体积时所遇到的每个体素(或最近邻的体素)计算。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

(3) 跳过空洞采样

跳过空洞采样方法，对于同一条光线上，像素相同的区域，采用跳过空洞的方式采样。提高光线透射法的计算效率。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

图像合成

根据一条光线上最终选择的标量值合成的方法，可分为以下几种：

(1) 最大强度投影法(Maximum Intensity Projection, MIP)

◆ MIP 是沿观察者视线方向，选择每条与数据体积相交直线上全部像素中的**最大强度值**作为图像投影平面强度值。

◆ 该方法适于做CT或MR 血管造影图像。

◆ 缺点：失去三维空间信息。

由于所有投影像素都是选取最大强度值，因而整个图像的平均背景强度随之加大，这在很多情况下（例如肾或肝中血管）会影响对一些结构的观察效果。有时，高强度的像素（例如CT图像中的骨结构或钙化点）会对使用造影剂的血管图像产生伪迹。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

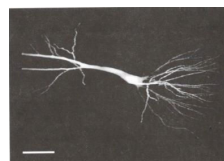
(2) 平均强度投影法：渲染投影光线上所有点的强度(标量值/不透明度)的**均值**。

(3) 最小值投影法：只渲染投影光线上**最小强度**(标量值/不透明度)的点。

(4) α 合成绘制投影：对投影光线上所有点进行**叠加合成**。
使用了 alpha 混合技术。常用方法。

(5) 等值点投影：只渲染投影光线上标量值等于指定阈值的点。类似于选出等值面，再投影。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



用光线投射技术生成的最大强度投影神经元图像

最大强度投影或MIP是可视化体积数据最常用方法之一。该技术具有较好的抗噪声特性，能够产生对处理数据直观了解的图像。这种方法的缺点是不可能从一幅静止图像看出沿光线什么地方得到的最大值。例如图中所示的神经元图像，很难从这幅静止图像完全了解神经元的结构，因为我们不能确定该神经元的某些分支是在其他分支的前面还是后面。

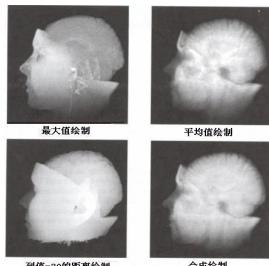
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

右图显示的是使用四个不同简单光线函数转化为灰级值的显示结果。

前两个光线函数，最大值及平均值，是对标量值本身的基本操作。

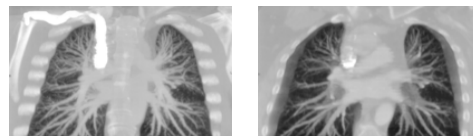
第三个光线函数计算沿光线首次遇到等于标量值为30处的距离，

第四个函数使用 α 合成技术，将沿光线的值看作按单位距离累积的阻光度样本值。



四种不同光线函数绘制的结果

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

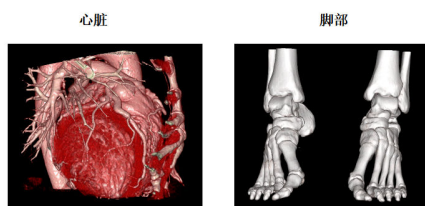


肺动脉的MIP与 α 合成绘制图像比较。
左图：MIP图像，右图： α 合成绘制图像

MIP实际包括了所有的血管，但不够清晰，不能看出单个结构及相互之间的空间位置关系。 α 合成绘制的图像则清楚的多。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

● 光线投射算法结果图



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

- 体绘制原理简介
- 光线投射法
- GPU加速原理

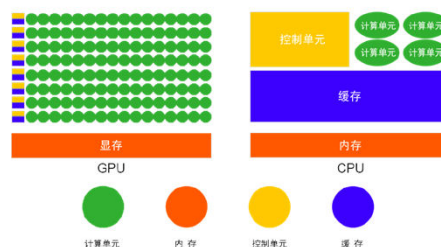
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

为什么要使用GPU?

- ◆ 利用体绘制算法的可视化方式在临床应用中往往需要实时实现，这往往考验计算机的计算能力
- ◆ 普通计算机的运算能力已经无法满足实时体绘制的需求，而且CPU的运算能力的提高已经遇到了瓶颈。为了提高运算效率研究人员需要求助于巨型机或者计算机集群。但是这些运算手段都存在各自的问题，巨型机成本极高而且资源有限；计算机集群巨大的通讯开销是存在的巨大缺陷。所以和CPU相比，GPU具有更强的计算能力；相对于巨型机和计算机集群，GPU不但成本低而且数据通信的效率更高。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

GPU和CPU的比较



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

GPU和CPU的比较

- ◆通过CPU和GPU架构的比较,不难发现GPU的体系结构决定了它更擅长计算而非控制。相对于CPU,GPU具有更多的计算运算单元,这些计算单元能够用来平行地执行数据处理任务,而CPU大部分为控制器和缓存

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

GPU和CPU的协作关系

- ◆GPU从出现到今天经过不断发展和完善,从只是用来作为图形学的单一用途到发展到现在用于多个领域如计算机视觉、机器学习、图像处理以及高性能计算等等。
- ◆GPU的出现开始是为了迎合快速发展的游戏产业。后来研究人员发现GPU在处理矩阵运算相对于CPU效率提高了很多,于是研究人员尝试把密集的运算任务通过图形学程序接口的协作,放置在GPU中进行处理,
- ◆让CPU专注于程序流程控制或者用户交互任务处理,等到运算密集型的任务处理完毕后,把结果从GPU返回到CPU中。
- ◆**缺点:**这种方法对研究人员的编程和图形学背景要求极高

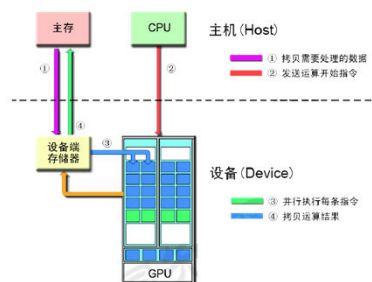
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

CUDA

- ◆NVIDIA公司提出了CPU和GPU的混合架构CUDA(Compute Unified Device Architecture)。CUDA不需要学习者具有很强的图形学背景,有效降低了GPU编程的门槛,大大简化了通用计算的工作量。
- ◆CUDA的基本思想是将不同特点的计算任务分别分配给CPU和GPU,
- ◆CPU被称作主机(Host)用来做整个计算任务流程的控制,在主机端运行的代码串行执行,GPU被称作设备(Device)用来处理计算密集的任务,设备端执行的任务通常并行执行。

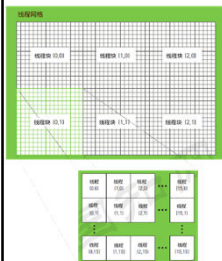
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

CUDA程序设计流程



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

线程组织层次



- ◆CUDA的运算效率和可扩展性取决于它的简单线程组织结构。在GPU上运行一个核函数,意味着创建了大量执行相同核函数的线程。因为在一个网格中的线程执行相同的核函数,所以每个线程需要有唯一的坐标以区别于其他线程,并且用来标识它所需要处理的数据。
- ◆首先,执行线程核的众多线程被组织成线程块(Block)也叫做协作线程阵列(Cooperative Thread Array,CTA),线程块又被组织成线程网格(Grid)。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

线程组织层次

- ◆总而言之,线程网格由二维的线程块组成。每个线程块由三维的线程阵列组成。当我们要寻址某个线程的时候首先需要确定线程所在的线程网格以及线程块的位置,然后根据线程在块中的坐标值确定线程的具体位置。
- ◆在GPU的体系结构中流多处理器(Streaming Multiprocessor, SM)是非常重要的概念,每个流多处理器有若干个流处理器(Streaming processors, SP)组成。流多处理器是现代GPU的最为重要的组成部分,是执行线程的处理核心。一个流多处理器中可以包含多个线程块,一个线程块只能包含在一个流多处理器中。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

Thanks

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine