




# 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10章 医学图像重建与可视化概述 及图形学基本概念

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

- 医学图像重建与可视化概述
- 可视化数据表示及显示技术简介
- 图形学基本概念

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

- 医学图像重建与可视化概述
- 可视化数据表示及显示技术简介
- 图形学基本概念

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. 数据可视化

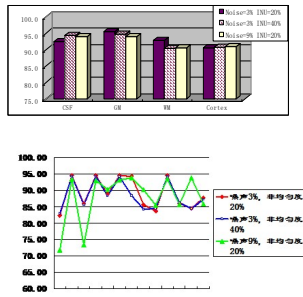
哈尔滨工业大学•感知计算研究中心•计算医学课题组  
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## Data visualization (广义数据可视化)

- 清晰有效地传递信息：有效的可视化可以帮助用户分析和推理数据和证据。它使复杂的数据更容易理解和使用。
- 可以使用统计图形、图表、信息图表、数据曲线等工具
- 还可以引入形态表示，表达更真实的数据

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

### 数据可视化（1）：数据曲线与图表

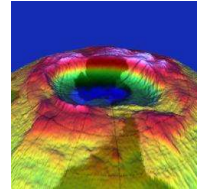


哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

### 数据可视化（2）：引入形态表示

臭氧层



飓风 FRAN



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.为什么需要重建医学图像？

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

- 近年来，医学成像技术获得了飞速发展，CT、MRI、US、DSA、PET、SPECT等，它们提供了丰富的人体内部组织器官的二维断层图像序列。然而，仅有二维图像，很难建立起对三维空间立体结构的认知。
- 为了提高医疗诊断和治疗规划的准确性与科学性，需要将二维断层图像序列进行处理，尽量**还原出人体器官的三维结构与形态**，从而提供若干用传统手段无法获得的解剖信息，为进一步模拟操作提供视觉交互手段。**医学图像的三维重建与可视化技术就是在这一背景下提出的。**
- 在医学和临床诊断中，三维重建可视化可用于虚拟内窥、计算机辅助手术和图像指导的治疗等。

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

## 3. 计算机处理医学图像的过程？

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

- 1.（各种**成像技术**）对人体器官进行扫描，将连续的、实际的人体解剖结构离散化、数字化；
2. 对获得的数据进行**加工和处理**；
3. 运用合适的**可视化技术**将处理结果显示出来。

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

医学图像的可视化必须确保:

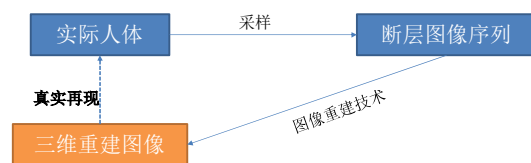
- 形态再现 —— 三维图像重建技术
- 真实感 —— 色彩、光照等的应用

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

#### 4. 什么是图像重建技术?

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

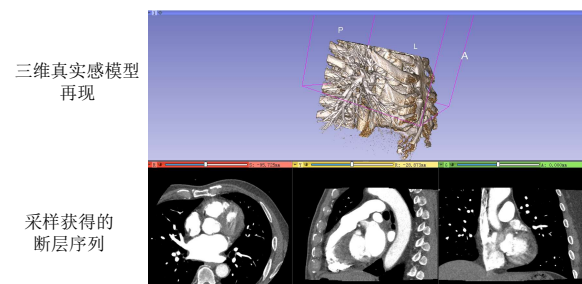
从获取的二维采样数据中恢复物体的三维结构，即再现物体的原型。



从本质上说，重建是一个逆问题。

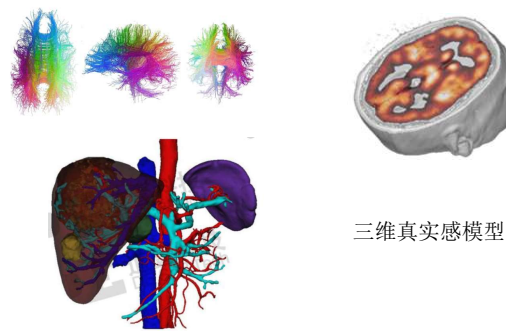
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组  
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

#### 重建及可视化案例



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

#### 重建及可视化案例



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

- 医学图像重建与可视化概述
- 可视化数据表示及显示技术简介
- 图形学基本概念

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. 可视化数据基本特点

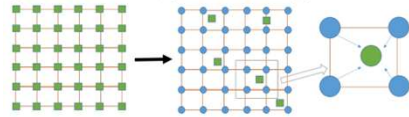
- 1.1 离散性
- 1.2 结构化和非结构化
- 1.3 拓扑维度

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

### 1.1 离散性

- 为了让计算机能够获取、处理和分析数据，必须对无限、连续的空间体进行采样，生成有限的采样数据点，这些数据以离散点的形式存储，采样的过程是一个离散化的过程。
- 可视化数据在某些离散点上有精确的值存在，但点与点之间的值则是不可知的，要得到采样点之外的其他点的值，只有通过插值(Interpolation)的方法获取（关于插值的相关算法，在我们的第一堂课已经讲过）。



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

### 1.2 结构化(Structured)和非结构化(Unstructured)

#### 规则结构数据

点与点之间有固定的关联关系，可以通过这些关联确定每个点的坐标

只需存储起始点、相邻两点之间的间隔以及点的总数就可以保存完整的数据信息。

#### 不规则结构数据

之间没有固定的关联关系。

虽然存储和计算时不能像规则结构的那样高效，但它在数据表达方面相对而言则更加自由、细致灵活。在数据变化频繁的区域可以密集表示，而数据变化不频繁的区域则稀疏表示。

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

### 1.3 拓扑维度(Topological Dimension)

可视化数据具有零维、一维、二维、三维等任意维度。

- 零维：点
- 一维：线
- 二维：面
- 三维：体。
- .....

数据的维度决定了数据可视化的方法。

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

## 2. 可视化数据

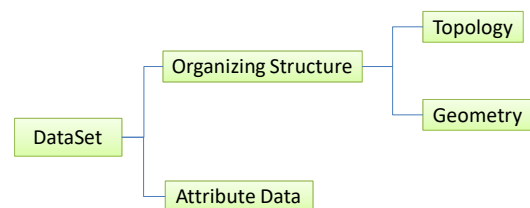
- 2.1 基本概念
- 2.2 数据集类型
- 2.3 图像数据集

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

### 2.1 基本概念

◆ **数据集**是可视化流程中的数据对象。



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

◆ **Geometry**: 描述了物体的空间位置, 与空间变换(如旋转、平移、缩放等)有紧密联系。通常由空间中的点来定义。

◆ **Topology**: 描述了物体的构成形式, 具有几何不变性。通常只考虑物体间的位置关系而不考虑形状和大小。

例如, 三角形的单个顶点坐标定义了它的几何结构, 顶点之间的连接关系就构成了拓扑结构



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

◆ **单元(Cell)**是可视化系统的基础

- 一系列有序的点按指定类型连接所定义的结构; 描述了点的关系, 比如哪些点连成了一条线, 那些点构成了一个面等。
- 数据集由一个或多个单元组成。
- 数学表示:  $C_i = \{p_j | p_j \in P\}$ ,  $P$  是点集。

单元就是一个有特定顺序的点集

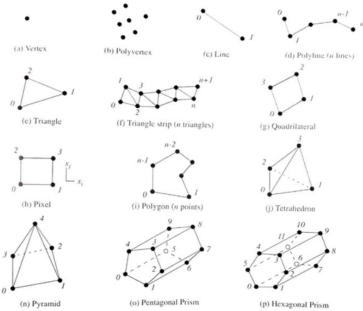
- 单元类型决定了点集顺序(单元拓扑);
- 点的个数是单元大小(size);
- 点的坐标定义了单元的几何结构;

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

### 线性单元

点、线、三角形、三角条带、四边形、像素、体素、四面体、六面体.....



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

### Organizing Structure

要形成完整的数据集, 必须同时拥有Topology和Geometry两种结构。

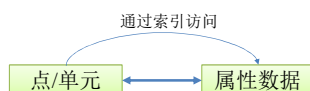
### Attribute Data

- 描述数据集的属性特征
- 对数据集的可视化实质上是对属性数据的可视化。
- 属性数据可以是某个空间点的温度值, 也可以是某个单元的质量。

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

每个点/单元都拥有和它一一对应的属性数据



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

## 2.2 数据集类型

◆ 由数据集的Organizing Structure决定

如果组成数据集的点是规则的, 则称该数据集的几何是规则的;

如果组成数据集的单元拓扑是规则的, 则称该数据集的拓扑是规则的。

◆ 依据一个数据集的几何与拓扑分别是否规则, 可以将数据集划分为多种类型, 常见的两种是:

- 非结构化的多边形数据集(Polygonal Data)
- 结构化的图像数据集(Image Data)

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

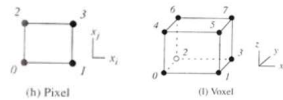
### 多边形数据集(Polygonal Data)

由顶点(Vertex)、多顶点(Polyvertex)、线(Line)、折线(Polyline)和三角条带(Triangle Strip)等单元构成。



### 图像数据集(Image Data)

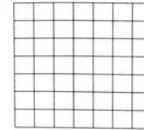
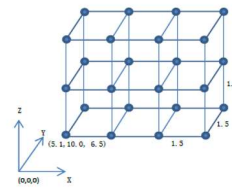
- 二维基本单元是像素(Pixel)
- 三维基本单元是体素(Voxel)



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

## 2.3 图像数据集



(a) Image Data

- 图像可以看做是空间中的一个规则网格
- 网格中的每个最小单元称之为一个像素或者体素
- 每个方向上的像素或者体素个数即为图像在该方向的维数

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

Image DataSet

Head Data

Origin起点位置

Space像素间隔

Dimension维度

Attribute Data → 像素值

- 结构化数据→通过这Origin、Space、Dimension三个参数就可以决定图像空间位置和规模。
- 医学图像大多数处理的是灰度图像→像素值通常为一个标量(颜色、灰度、梯度等)。

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

一般将待可视化的医学图像称作  
**体数据(volume data)**;

对应的标量属性值为灰度值

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

## 3.医学图像可视化技术简介

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

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

## 反射式显示

从体数据的感兴趣区域提取被观察物体的表面，施以一定的光照模型，选择某一视角从物体外部观察物体表面形态的显示方式。如**表面绘制技术(Surface 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

## 透射式显示

类似于X射线成像，将反映医学图像特性的图像强度看作对光线不同吸收的特性，光线穿透物体的累加吸收效果构成物体的结构图像。

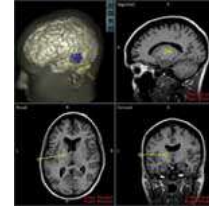
如体绘制技术(Volume Rendering)。

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

## 断层(剖面)显示

不经3D重建，直接显示经过空间某一点的三个正交剖面的形态结构。



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

- 医学图像重建与可视化概述
- 可视化数据表示及显示技术简介
- 图形学基本概念

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

## 参考书籍

《交互式计算机图形学:基于OpenGL着色器的自顶向下方法(第6版)》

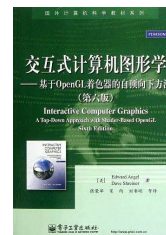
作者: Edward Angel / Dave Shreiner

出版社: 电子工业出版社

《计算机图形学(第3版)》

作者: (美) Donald Hearn、M.Pauline Baker

出版社: 电子工业出版社



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.图形渲染管线

三维渲染过程中显卡执行的，从几何体到最终渲染图像的数据传输处理计算的过程。

通俗理解为：

三维空间的图形数据经过各种变化处理最终出现在屏幕的过程。

- 特点：复杂  
归结为图形任务的复杂性和挑战

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

- 两个主要任务：

(1) 把3D坐标转换为2D坐标【三维顶点二维化】

(2) 把2D坐标转变为实际的有颜色的像素【二维顶点像素化】

※2D坐标和二维平面上的像素一样吗？

2D坐标精确表示一个点在2D空间中的位置

2D像素是这个点的近似值，受到屏幕/窗口分辨率的限制。

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



## OpenGL

全名：Open Graphics Library

译名：开放式图形库

用途：用于渲染2D、3D矢量图形的跨语言、跨平台的应用程序编程接口(API)。

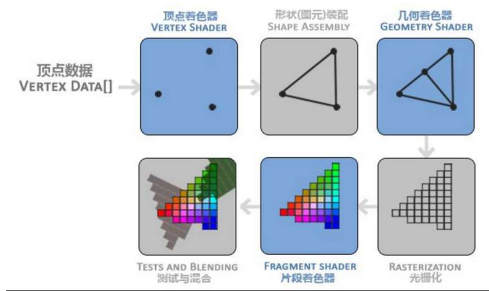
OpenGL作为图形硬件标准，是最通用的图形管线版本。

- (1) 经典固定管线(Fixed-Function)：OpenGL新标准(4.0以上)明确删除了固定管线功能，但是可以作为参考学习
- (2) **可编程管线(Programmable)**：通过编写一种叫做着色器(shader)的小程序来实现特定功能，控制渲染过程。

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

## 可编程图形渲染管线



- \*蓝色部分是可以人为控制的。
- \*经过上述处理就可以生成图像并输出。

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

### ► 输入：顶点数据(Vertex Data)，一系列顶点的集合。

一个顶点(Vertex)是一个3D坐标的数据的集合，包括描述顶点属性的数据。

如我们最终要在屏幕上渲染得到一个三角形，就需要定义三角形三个顶点3D坐标作为输入。这里将“位置”当做了一种属性。还可以是灰度值、梯度值等。

### ► 顶点着色器(vertex shader)

对每个顶点进行处理，将输入的3D坐标转化为另一种标准设备下的3D坐标——**顶点坐标变换**

同时可对顶点属性进行处理。



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

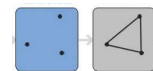
### ► 图元装配(Primitive Assembly)

将顶点着色器输出的所有顶点作为输入，根据顶点和它们之间的连接关系生成图元信息。

连接关系指定哪些顶点如何构成图元[点、线段、三角形、四边形等]。

但此时还只是“空架子”，因为顶点处还没有转换为“像素点”、直线段端点之间是空的、多边形的边和内部也是空的，需要后续光栅化步骤来构造。

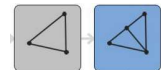
比如让三个顶点构成一个三角形。



### ► 几何着色器(Geometry Shader)

把图元形式的一系列顶点的集合作为输入，它可以通过产生新顶点构造出新的(或是其它的)图元来生成其他形状。

例子中，它生成了另一个三角形。



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

### ► 光栅化(Rasterization Stage)

◆屏幕上的画面都由像素组成，而三维物体和之前生成的图元都是矢量的点线面构成的。

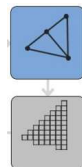
◆光栅化作用就是把图元映射为屏幕上相应的像素，生成供片段着色器使用的片元。

◆**片元**：OpenGL中的一个片元是渲染一个像素所需的所有数据，被叫做“潜在的像素”

#### ▲两个任务：

1.确定图元包含哪些由整数坐标确定的“小方块”(和屏幕像素对应，对应于光栅化后生成的片元)

2.确定这些小方块的深度、颜色、位置信息(从顶点信息中插值得到)，这些颜色之后可能被其他操作修改，深度值会应用于后续处理。



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

### ► 片段着色器(Fragment Shader)

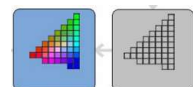
对片元进行处理

每个片元都具有一个颜色属性、对应在屏幕坐标系中的位置属性，以及深度信息(处理物体遮挡关系)。

一个或多个片元对应于某个像素(因为在实际渲染中，某些片元可能会被遮挡)。

◆片段着色器计算一个像素的最终颜色，这也是所有OpenGL高级效果产生的地方。

通常片段着色器包含3D场景的数据(比如光照、阴影、光的颜色等)，这些数据可以被用来计算最终像素的颜色。



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

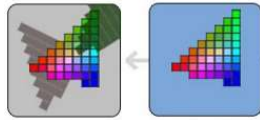


### Alpha测试和混合(Blending)

检测片段的对应**深度值**，用它们来判断这个像素位于其他物体的前面还是后面，如果被遮挡了，应该丢弃这个像素颜色值。

检查**alpha值**(透明度信息)并对物体进行透明度合成。

所以，即使在片段着色器中计算出来了一个像素输出的颜色，在渲染多个三角形的时候最后的像素颜色也可能完全不同。



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

▶ 可以看到，图形渲染管线非常复杂，它包含很多可配置的部分。然而对于大多数场合，我们只需要配置**顶点着色器**和**片段着色器**。

▶ 关于顶点着色器和片段着色器的通俗类比

如果把渲染过程类比为绘画过程：

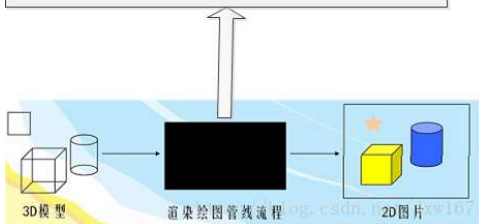
顶点着色器相当于告诉计算机，“如何打线稿”这个事情，即如何处理顶点、法线等的的数据。

片段着色器相当于告诉计算机，“如何上色”这个事情，即计算一个像素的最终颜色。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

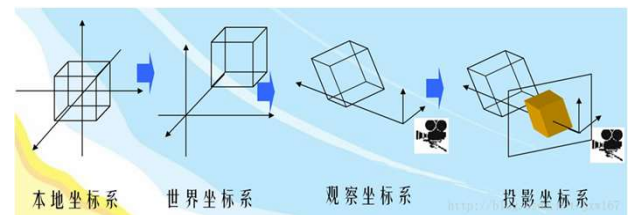
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

顶点处理，面处理，光栅化，像素处理



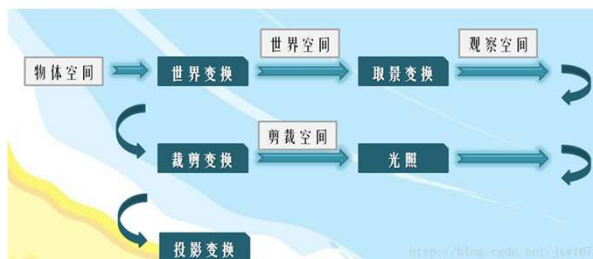
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



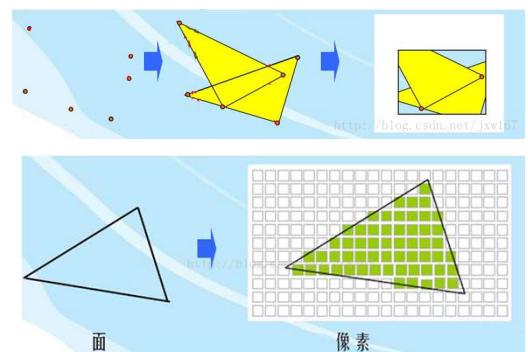
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

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



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.坐标系统与空间变换

- 2.1 齐次坐标
- 2.2 投影变换
- 2.3 其他概念
- 2.4 顶点坐标变换过程

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

顶点坐标变换发生在可编程图形渲染管线的  
**顶点着色器**部分

涉及到齐次坐标、投影、矩阵变换等概念

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

### 2.1 齐次坐标

#### 齐次坐标(Homogeneous Coordinates)

- 用n+1维表示n维坐标
- 数学中表示不唯一  
比如齐次坐标(8,4,2)、(4,2,1)表示的都是二维点(4,2)。

在以  $(v_1, v_2, v_3)$  为坐标基,  $p_0$  为原点的三维空间坐标系  $(v_1, v_2, v_3, p_0)$  中

- 点可以定义为四维空间下的  $P = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, 1)(v_1, v_2, v_3, p_0)^T$ , 记为  
 $P = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, 1)^T$
- 向量可以定义为:  $w = (\delta_1, \delta_2, \delta_3, 0)(v_1, v_2, v_3, p_0)^T$ , 记为  
 $w = (\delta_1, \delta_2, \delta_3, 0)^T$ 。

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

## 为什么引入齐次坐标?

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

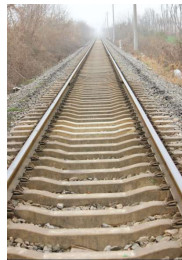
可以表达欧式空间无法描述的事情。

#### 1. 表示无穷远的点。

n+1维的齐次坐标中如果 $\omega=0$ , 实际上就表示了n维空间的一个无穷远点。

$$(x, y, 0) \Leftrightarrow \left( \frac{x}{0}, \frac{y}{0} \right) \Leftrightarrow (\infty, \infty)$$

2.在透视空间中, 两条平行线最终会在无穷远处相交于一点。



$$\begin{aligned} A \frac{x}{\omega} + B \frac{y}{\omega} + C &= 0 \\ A \frac{x}{\omega} + B \frac{y}{\omega} + D &= 0 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} Ax + By + C\omega &= 0 \\ Ax + By + D\omega &= 0 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad (x, y, 0)$$

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.许多图形应用涉及到几何变换。

主要包括平移、旋转、缩放等。

如果以矩阵形式表示这些变换,以二维上的点  $(x, y) \rightarrow (x', y')$  为例,

- 平移表示为:  $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}$
- 旋转表示为:  $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$
- 缩放表示为:  $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$

统一表示为:

$$p' = m1 * p + m2 \quad \xrightarrow{\text{引入齐次坐标}} \quad p' = M * p$$

$m1$  是旋转缩放矩阵,  $m2$  为平移矩阵, 不是一种线性变换

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

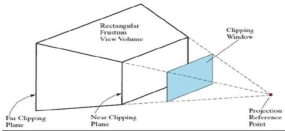
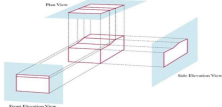
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

## 2.2 投影变换

◆显示器是二维表面，如果想显示三维图像，需要把3D几何体转换成可作为二维图像渲染的形式。

三维坐标  $\xrightarrow{\text{how?}}$  二维坐标

◆降维→投影？  
最常见的投影方式：



正交投影                      透视投影

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

正交投影无疑是最简单的一种方式，投影时把 $z$ 值拿掉即可。

如果我们能想到一种方式，将所有情况都转化为正交投影的状态，问题就很好解决了。

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

## ◆投影规范化技术

将可见视野范围内(视见域)的三维实体坐标转化为另一种三维坐标——**标准化设备坐标(规范视见域)**的过程。

比如将非标准坐标系下的截头锥体或柱体变换到标准化设备立方体空间：

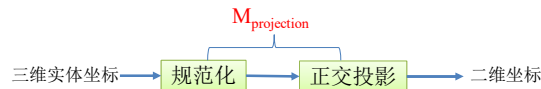
- 这种标准化设备坐标只需要通过**正交投影**的方式，就能被映射到2D观察坐标上。

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

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

- **投影规范化**是由齐次坐标下的矩阵变换来完成，将这一过程中使用的矩阵定义为【**规范化矩阵**】
- **正交投影**过程中的投影矩阵称为【**正交投影变换矩阵**】

将上述两个矩阵级联，就得到了可以用来完成由三维实体坐标到二维坐标上的【**投影变换矩阵**】



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

## 2.3 其他概念

### 视口(viewport)

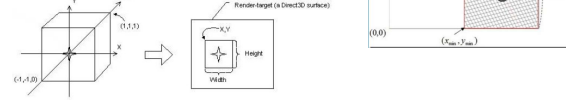
在窗口中定义一个像素矩形，最终将图像以指定宽高映射到这个矩形中显示。

视口默认被设置为占据打开窗口的整个像素矩形。窗口坐标左下角为原点，x向右，y向上。

一个窗口内可以定义多个视口。

### 视口变换(viewport transform)

将三维空间内的坐标转换到视口所定义的范围线性映射



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

### 透视除法(perspective division)

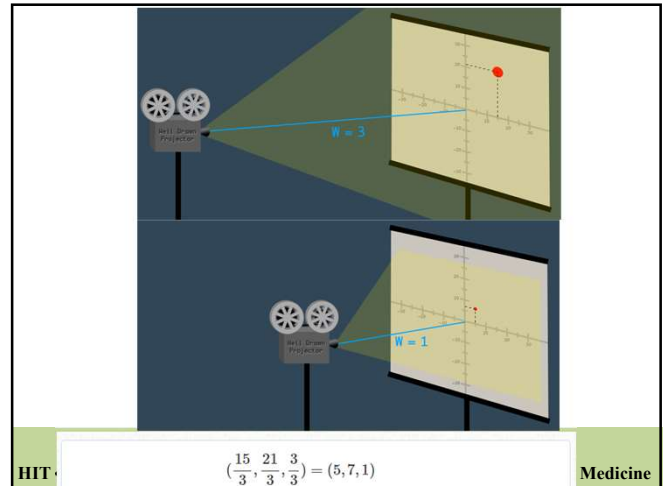
用齐次坐标的n+1维分量去除前面的n维分量，就可以转换为原始坐标。

如， $(x, y, z, w) \Leftrightarrow \left(\frac{x}{w}, \frac{y}{w}, \frac{z}{w}\right)$ 、 $(x, y, w) \Leftrightarrow \left(\frac{x}{w}, \frac{y}{w}\right)$

- 在图形学中，使用这一原理进行顶点变换的操作定义为透视除法。
- 投影变换完成仍然是齐次坐标，还需要将其变为原始维度坐标，进行后续处理。

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



## 2.4 顶点坐标变换

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

## 处理过程中不同坐标系的定义

### 模型坐标系(Model Coordinate):

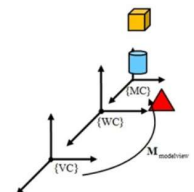
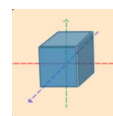
建模对象的原始坐标系，每个对象都有一个MC。

### 世界坐标系(World Coordinate):

只有一个WC，放置所有建模的对象、相机、光源等。

### 观察坐标系(View Coordinate)/相机坐标系(Camera Coordinate):

指定观察者/相机的视野范围，世界空间的所有内容在该范围内呈现的效果；



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

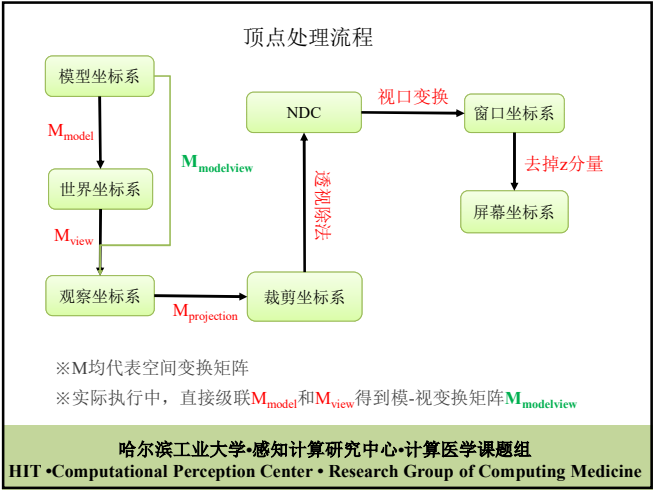
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

裁剪坐标系(clip) :  
投影变换后得到的齐次空间下的规范视见域内  
【4D】坐标 $\in [-w, w]$

规范化设备坐标系(NDC):  
三维空间下的规范立方体内坐标  
【3D】坐标 $\in [-1, 1]$

窗口坐标系(window):  
依赖设备、视口的三维表示，物理坐标； $(x, y, z)$

屏幕坐标系(screen):  
去掉深度信息，得到二维表示， $(x, y)$   
即最终视觉效果



Thanks