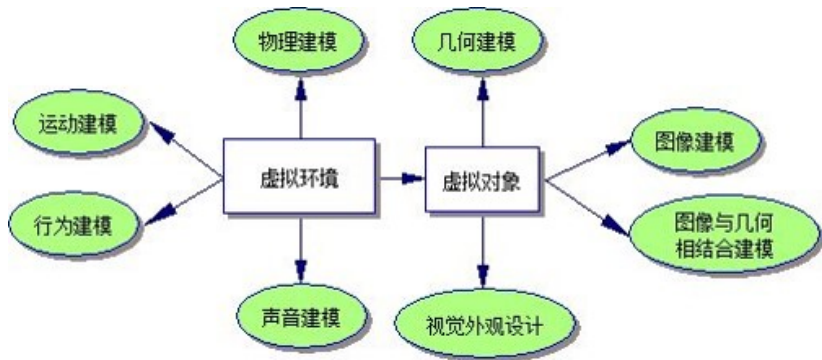


# VR 中的建模 Modeling

2019.12.4

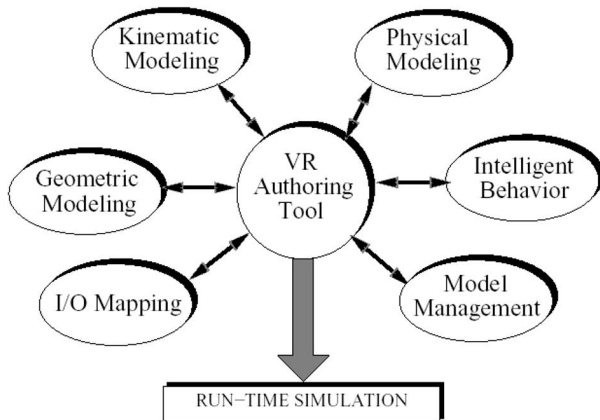
# VR 中的建模



来自 [1]

# VR 中的建模

The VR modeling cycle



# Outline

- ① 对象虚拟
  - 几何建模
  - 图像建模
  - 三维对象的视觉外观
- ② 运动建模
- ③ 物理建模
- ④ 行为建模
- ⑤ 模型管理

# 对象虚拟的过程

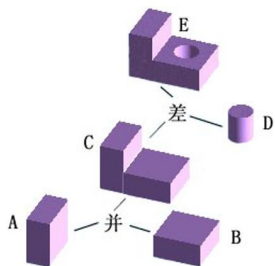
- 建模
  - 用一定的方式对对象进行直接的描述。它们的描述直接影响图形的复杂性和图形绘制的计算消耗。其建模方法一般包括几何建模、图像建模、几何与图像相结合的建模三种方法。
- 视觉外观的设计
  - 为场景添加光照和纹理映射。即根据基于光照模型和纹理映射，计算物体可见面投影到观察者眼中的光亮度大小和颜色分量，并将它转换为适合图形设备的颜色值，从而确定投影面上每一像素的颜色，最终生成真实感图形。

# 对象虚拟的过程

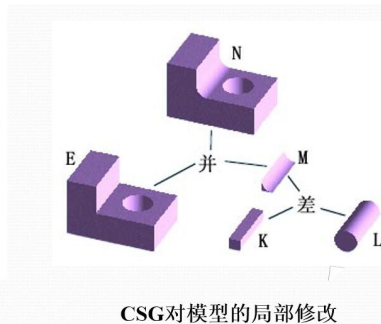
- 几何建模主要处理具有几何网络特性的几何模型的拓扑信息（Topological）和几何信息（Geometric Element）。
- 拓扑信息指物体各分量的数目及其相互间的关系，包括点、线、面之间的连接关系、邻近关系、边界关系。
- 几何信息一般指物体在欧式空间中的形状（包括点、线、面等）、具有确定的位置和度量值（长度和面积）。

# 建模方法

## 构造立体几何 (Constructive Solid Geometry, CSG)



CSG构造的几何模型



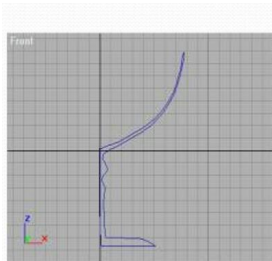
CSG对模型的局部修改

图片来自 [1]

# 建模方法

## 其他建模方法

- 非统一有理 B 样条 (Non-uniform Rational B-Splines NURBS)
- 半代数曲面 (semi-algebraic surfaces)



(a) 酒杯截面造型



(b) 酒杯造型

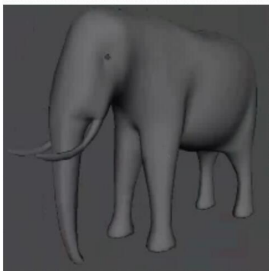
酒杯截面造型过程

图片来自 [1]

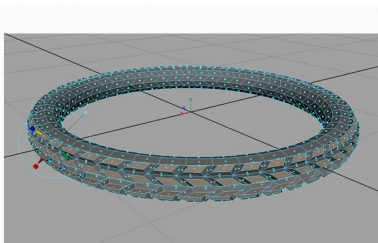


# 建模方法

## 多边形 (Polygon) 表示法



多边形方法制作的大象模型



多边形方法制作的轮胎实体模型

图片来自 [1]

# 建模方法

模型产生途径:

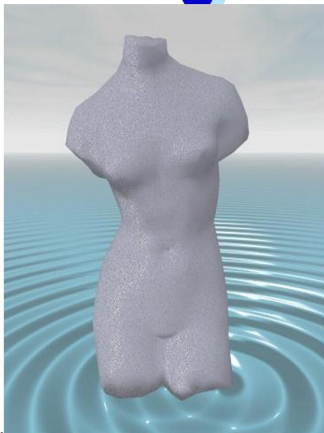
- 直接在几何文件中输入
- 程序建模 (Procedure modeling): 通过程序代码进行创建
- 运用建模软件创建, 比如 3ds/Max, maya
- 使用 3D 扫描仪 (3D Scanner) 获取真实模型
- 照片测量法 (photogrammetry): 基于照片进行三维重构 (Reconstruction)
- 各类方法的组合

# 建模方法

## Geometric Modeling



**Venus de Milo created  
using the HyperSpace  
3D digitizer, 4200 textured  
polygons using NuGraph  
toolkit**



图片来自 [2]

# 建模方法

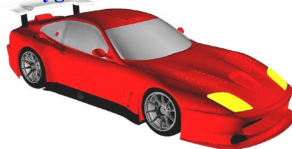
## Case example: Ferrari down-force rear wing



Point cloud from scanner



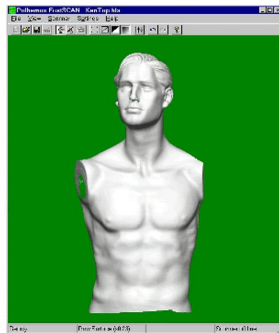
Polygonal mesh



图片来自 [2]

# 建模方法

## Geometric Modeling



Polhemus FastScan 3D scanner (can scan objects up to 3 m long).

图片来自 [2]

# 建模方法

## 激光雷达测距 Light Detection And Ranging (LIDAR)

- 光学遥感技术可以利用激光脉冲来照亮目标来测量目标的距离或其他属性。
- 测绘、考古、地理、地质、地貌学、地震学、林业、遥感和大气物理学。
- 也可用来‘激光测高’和激光雷达等值线图的绘制。



图片来自 [2]

# 建模方法

## 激光雷达测距原理

- 激光发生器产生光脉冲
- 脉冲被对象反射，并返回给仪器
- 高速计数器测量从开始到返回脉冲飞行的时间
- 最后，测量的时间转换为距离，使用下面的公式：  
 $R = (T * c) / 2$ 。其中， $R$  为距离 (m)， $T$  为激光飞行时间 (s)， $c$  为光速 (m/s)

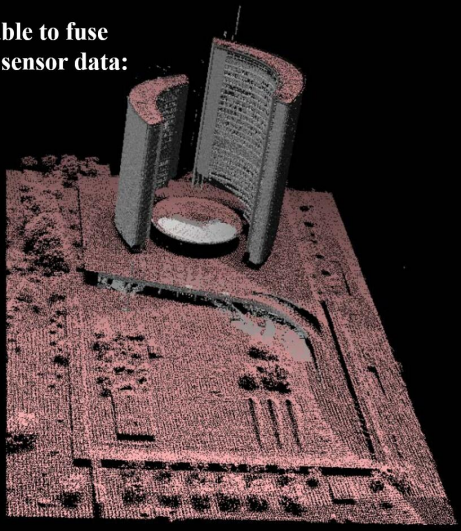
# 建模方法

**Two methods were available to fuse the ground and airborne sensor data:**

**-Geo referencing the ground and airborne data, or**

**-Aligning both data sets by identifying common points.**

**Fused sensor data:  
ILRIS-3D data is grey,  
ALTM data is pink**



图片来自 [2]



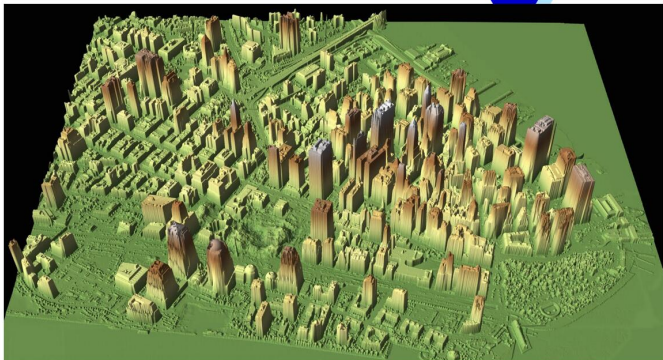
# 建模方法



A LiDAR point cloud captured from above can be rotated and colorized with RGB values from a digital aerial photo to produce a realistic 3D oblique view

图片来自 [2]

# 建模方法



This is a LIDAR map of the Manhattan, New York. This LIDAR map was used after 9/11 to determine what cranes are necessary to remove the rubble

<http://www.noaanews.noaa.gov/stories/s798.htm>

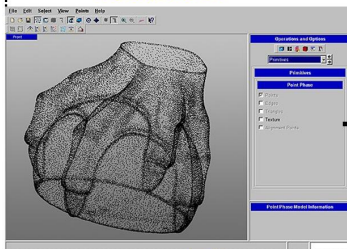
图片来自 [2]

# 建模方法

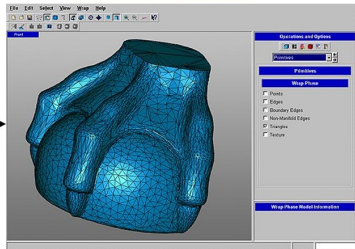
## Conversion of scanner data:

- ✓ Scanners produce a dense “cloud” of vertices (x,y,z).
- ✓ Using such packages as *Wrap* ([www.geomagic.com](http://www.geomagic.com)) the point data are transformed into surface data (including editing and decimation)

Point cloud  
from scanner



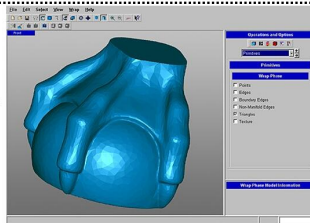
Polygonal mesh  
after decimation



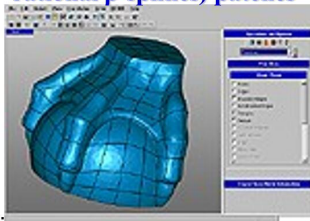
图片来自 [2]

# 建模方法

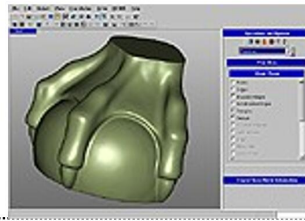
Polygonal  
surface



NURBS (non-uniform  
rational  $\beta$ -splines) patches



NURBS surface



# 建模方法

## Geometric Modeling – using online databases



**Low res. Model**  
– 600 polygons



**Higher resolution model**  
> 20,000 polygons.

Copyright © 2000 Viewpoint Corporation or its affiliates

# 图像建模

图像建模和绘制技术（Image Based Modeling and Rendering, IBMR）是指用预先获取的一系列图像（合成的或真实的）来表示场景的形状和外观，新图像的合成是通过适当的组合和处理原有的一系列图像来实现。

与基于几何的建模和绘制模式相比，IBMR 有以下突出的优点：

- 建模容易
- 真实感强
- 绘制速度快
- 交互性好

# 基于图像的绘制技术

- 传统的图形绘制技术，均是面向景物的几何模型，因而绘制过程涉及到复杂的建模、消隐和光亮度计算
- 如何在普通计算机上，实现真实感图形的实时绘制呢？

# 基于图像的绘制技术

- 传统的图形技术
  - 几何建模 → 光照模型 → 光线跟踪或辐射度绘制
- 基于图像的图像技术
  - 从图像到图像，避开复杂的几何建模过程



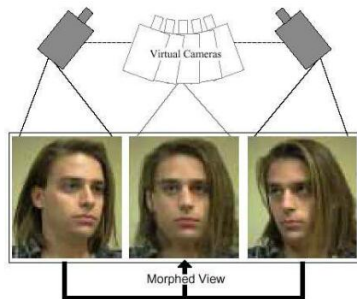
# 基于图像的绘制技术

图形绘制新的流水线？

- 图形流水线：“场景建模、光照模型、渲染”  
结果是图像、动画视频
- 新图形流水线：“将已有图像、图形、视频处理为新的符合要求的图像、图形、视频”
- 利用获取的双向纹理函数 (BTF), 双向反射分布函数 (BRDF) 和动态视频进行相应的处理和渲染

# 基于图像的绘制技术

通过预先生成好的图像，来生成不同视点处的场景画面。比如:View Morphing



Seitz S M, Dyer C R, View Morphing, SIGGRAPH 1996.

来自 icourses 胡事民

# 基于图像的绘制技术

基于图像的图像绘制优点：

- 图像绘制独立于场景的复杂性，仅与画面的分辨率有关
- 预先存储的画像可以是计算机生成的，也可以是实际拍摄的画面，或混合使用
- 对计算机要求不高，可在普通工作站或个人计算机上实现

# 基于图像的绘制技术

基于图像的绘制的主要研究内容：

- 视图插值
- 层次图像存储技术
- 全景函数造型技术
- 光场函数采样技术等

# 基于图像的绘制技术

## 视图插值

- 问题来源
  - Miller 的虚拟博物馆，Chen 的 Quick time VR 系统
- Quick time VR 系统
  - 三维场景采样，在采样点生成圆柱环境映照。用离用户视点最近的采样点处的环境映照生成画面
  - 如何在相邻采样点图像之间建立光滑的自然过渡，从而真实再现各相邻？
- 采样点间的场景透视变化。视图插值实际上是一种特殊的二维图像变形。

# 基于图像的绘制技术

## 层次图像存储技术

- 考虑到离视点较远的景物，在前后帧画面上的投影往往变化不大，一个自然的想法就是将景物在前一帧画面中的投影图像存储起来，并以之为纹理映射到一个四边形上，来近似取代该景物在后续画面上的绘制，由此可大大提高绘制效率。

# 基于图像的绘制技术

## 全景函数造型技术

- Adelson 和 Bergen 在 1991 年，给出了对基于图像绘制的理论基础，McMillen 和 Bishop 的工作均基于此。全景函数是一个参数化函数，它定义了空间任一点处，任何时刻任一波长范围内的可见信息

$$P = P(\theta, \phi, \lambda, V_x, V_y, V_z, t)$$

- EH Adelson, JR Bergen, The plenoptic function and the elements of early vision, 1031 citation
- L McMillan, G Bishop, Plenoptic modeling: An image-based rendering system, ACM SIGGRAPH, 1995, 1554 citation

# 基于图像的绘制技术

## 全景函数造型技术

$$P = P(\theta, \phi, \lambda, V_x, V_y, V_z, t)$$

- 其中  $V_x, V_y, V_z$  为视点,  $\theta, \phi$  为表似乎任一视线的球面角,  $\lambda$  为波长。全景函数事实上, 刻画了场景中任一点处的环境映照。基于图像绘制问题可以描述为: 给定全景函数的离散样本集合, 基于图像绘制技术的目标是, 生成全景函数的一个连续表示。(全景函数的采样、重建、重采样)



# 基于图像的绘制技术

为什么做视图插值？

- 视图插值的变形技术的部分吸引力在于由它所产生的图像看起来非常逼真并且视觉效果很好。尽管计算的是 2D 图像变化，但有效的图像变形能体现出 3D 世界中物体之间的自然过渡。真实的 3D 形状变化效果能够从 2D 图像变形中产生出来非常有用，避免了 3D 建模

# 基于图像的绘制技术

计算机视觉插值需要以下的条件

- (1) 两幅图像  $I_0$  和  $I_1$ ，代表着同一 3D 物体或场景的不同视角
- (2) 它们各自的投影矩阵  $\Pi_1$  和  $\Pi_2$
- (3) 两幅图像间像素的对应关系

注意：不需要事先知道 3D 形状

# 基于图像的绘制技术

## 传统图像变形的问题



(a)

原始的图像



(b)



(c)

线性插值



(d)

多特征线变形

来自 icourses 胡事民

# 基于图像的绘制技术

## 视图插值新观点

- 将两幅图像做预变形
- 将两幅做过预变形后的图像间计算一个变形过程（图像拉伸和插值）
- 然后将前面变形过程产生的中间帧做一个后变形

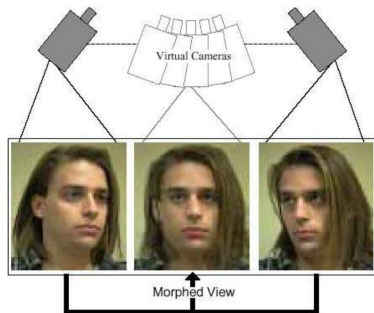


Figure 1: View morphing between two images of an object taken from two different viewpoints produces the illusion of physically moving a virtual camera.

来自 icourses 胡事民

# 基于图像的绘制技术

## 像素的对应关系

- 像素的对应关系是通过用户交互和自动插值结合在一起得到的。
- 事实上，一个近似的对应关系已经足以产生一个视觉上效果很好的变形。对应关系的错误将导致明显的假缺陷 (Artifact)，如形状扭曲。为了从一个新视点获得一个表面完整的外形，这个表面必须在图像  $I_0$  和  $I_1$  上均可见。否则将导致折叠和空洞。

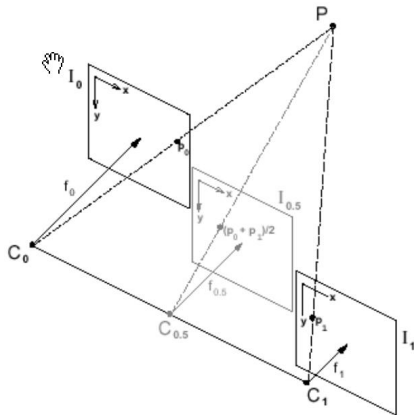
# 基于图像的绘制技术

- 基本表示
  - 用  $P = (X, Y, Z, 1)^T$ ,  $p = (x, y, 1)^T$  分别表示场景点和图像点
  - 相机由  $3 \times 4$  的投影矩阵  $\Pi = [H | -HC]$  来表示。向量  $C$  为相机的视觉中心的坐标。 $3 \times 3$  的矩阵  $H$  确定了像平面相对世界坐标系的位置和方向。
- 透视投影的公式为:  $p = \Pi P$

# 基于图像的绘制技术

## 平行视图插值

- 试想，给一个物体照一张相  $I_0$ ，将物体沿着与相机成像平面平行的方向移动，放大，拍第二张相  $I_1$ 。相反地，可以用移动相机代替移动物体来产生同样的两幅图像。



来自 icourses 胡事民

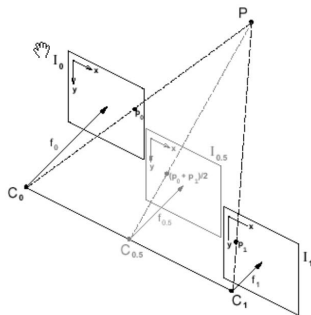
# 基于图像的绘制技术

## 平行视图插值

- Chen 和 Williams 证明，如果相机平行于成像平面移动，那么线性图像插值能够生成新的投影视角。试想相机从世界坐标的原点移动到  $C_x, C_y, C_z$ ，并且焦距从  $f_0$  变到  $f_1$ 。我们可以把投影矩阵  $\Pi_0$  和  $\Pi_1$  写做

$$\Pi_0 = \begin{bmatrix} f_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\Pi_1 = \begin{bmatrix} f_1 & 0 & 0 & -f_1 C_x \\ 0 & f_1 & 0 & -f_1 C_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



来自 icourses 胡事民



# 基于图像的绘制技术

## 平行视图插值

- 把具有这种形式投影矩阵的相机或视点成为平行相机或平行视点
- 设  $p_0 \in I_0$  和  $p_1 \in I_1$  为场景点  $P = (X, Y, Z, 1)^T$  的投影。由  $p_0$  和  $p_1$  作线性插值：
$$(1-s)p_0 + sp_1 = (1-s)\frac{1}{Z}\Pi_0 P + s\frac{1}{Z}\Pi_1 P = \frac{1}{Z}\Pi_s P$$
新视图的投影矩阵  $\Pi_s$  是  $\Pi_0$  和  $\Pi_1$  的线性插值。
- 所以，由平行相机插值生成的图像产生了这样的效果，在两个光学中心连线上移动相机的同时连续缩放

# 基于图像的绘制技术

## 不平行视图

- 下面讨论如何通过对应于同一个物体或场景的两个不平行视图生成一系列的中间视图。
- 为了方便，用视点的变化来代替物体或场景的旋转或平移

# 基于图像的绘制技术

## 图像重投影

- 对不平行视图，希望利用图像重投影，变成平行视图来处理。设  $I$  和  $\hat{I}$  分别是以  $\Pi = [H] - HC]$  和  $\hat{\Pi} = [\hat{H}] - \hat{H}C]$  为投影矩阵的图像。场景点  $P$  的投影点  $p \in I$  和  $\hat{p} \in \hat{I}$  有如下关联式。

$$\hat{H}H^{-1}p = \hat{H}H^{-1}\Pi P = \hat{\Pi}P = \hat{p}$$

- $3 \times 3$  的矩阵  $\hat{H}H^{-1}$  是一个将  $I$  所在的图像平面投影到  $\hat{I}$  所在图像平面的投影变换。

# 基于图像的绘制技术

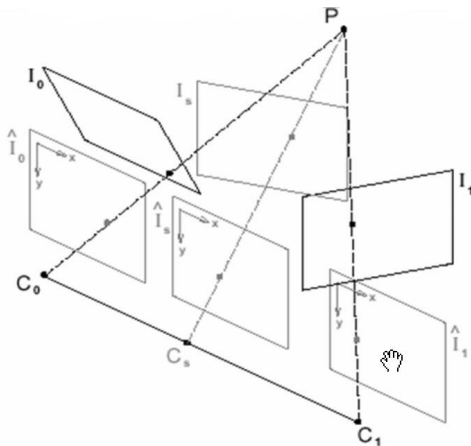


Figure 4: View Morphing in Three Steps. (1) Original images  $I_0$  and  $I_1$  are prewarped to form parallel views  $\hat{I}_0$  and  $\hat{I}_1$ . (2)  $\hat{I}_s$  is produced by morphing (interpolating) the prewarped images. (3)  $\hat{I}_s$  is postwarped to form  $I_s$ .

来自 icourses 胡事民

VR 中的建模 Modeling

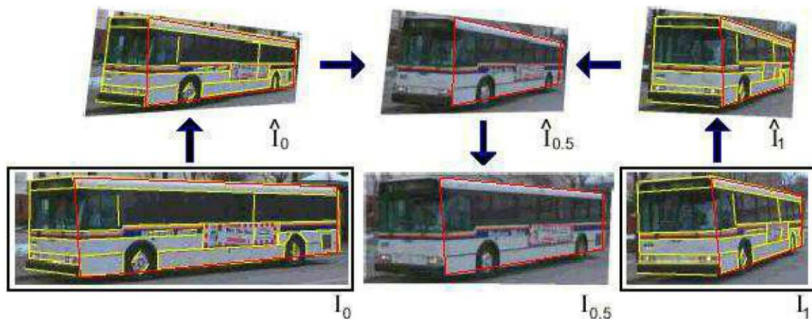
# 基于图像的绘制技术

下面给出如何生成一幅与投影矩阵  $\Pi_s$  相对应的视图  $I_s$

- 预变形：对  $I_0$  作投影变化  $H_0^{-1}$ ，对  $I_1$  作投影变化  $H_1^{-1}$ ，产生预变化后的图像为  $\hat{I}_0$  和  $\hat{I}_1$ ；
- 图像变形：通过对  $\hat{I}_0$  和  $\hat{I}_1$  上的对应点的位置和颜色进行线性插值以形成  $\hat{I}_s$ ，运用平行视图的图像变形技术；
- 将  $H_s$  运用于  $\hat{I}_s$ ，生成图像  $I_s$ 。

# 基于图像的绘制技术

## 结果示例



来自 icourses 胡事民

# 基于图像的绘制技术

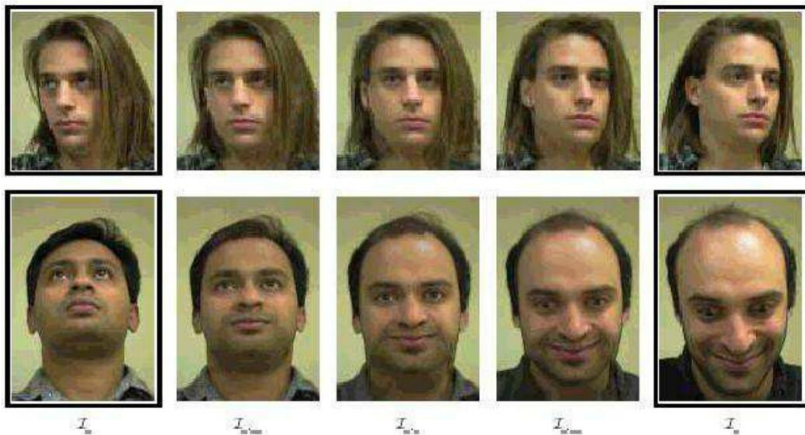
## 结果示例



来自 icourses 胡事民

# 基于图像的绘制技术

## 结果示例



来自 icourses 胡事民



# 基于图像的漫游技术

## 简介

- 从单张照片、油画、图片作动画并非新 idea，如固定画面的背景，移动画中的人物或动物，对图像作几何变换等
- 在不知道三维场景的几何结构的情况下，从其二维图像生成计算机动画，则是困难而有意义的。
- 下面介绍一种被称为“画中游”技术，用于由二维图像（照片、图片等）生成动画。

# 基于图像的漫游技术

## 所涉及的关键

- 画面的尽头：我们观察古典的油画和照片，其透视效果给人一种很强的立体感。但很难确定场景的尽头的确切位置。事实上，油画或图像的尽头并不能精确描述，而很大程度上依赖于艺术家的想象。
- 画面的背景与前景：由于缺乏三维信息，必须人工指定。

# 基于图像的漫游技术

## 算法流程

- 给场景增加虚拟的画面尽头，由用户人工指定。
- 区分场景中的背景与前景，也由人工指定。
- 用简单多边形构造背景和前景物体。

Y Horry, K Anjyo K Arai, Tour Into the Picture: Using a Spidery Mesh Interface to Make Animation from a Single Image, SIGGRAPH 1997.

# 基于图像的漫游技术

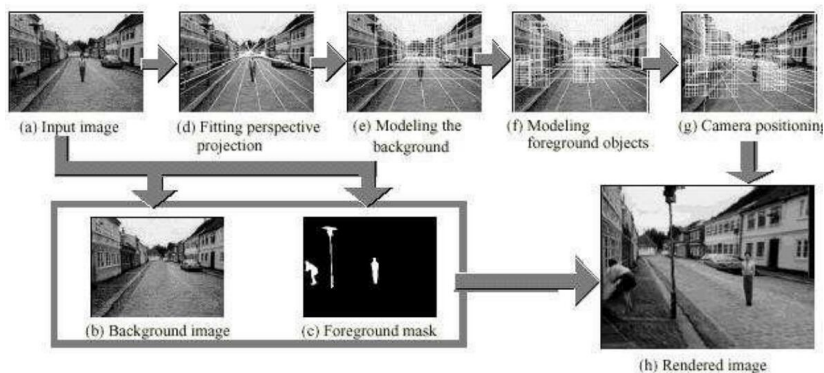


Figure 1. Process flow diagram

来自 icourses 胡事民

# 基于图像的漫游技术

区分场景中的前景和背景。（人工指定）



(a) Input image



(b) Background

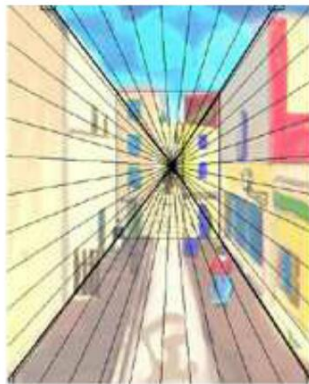


(c) Foreground mask

来自 icourses 胡事民

# 基于图像的漫游技术

给场景增加虚拟的画面尽头。(人工指定)

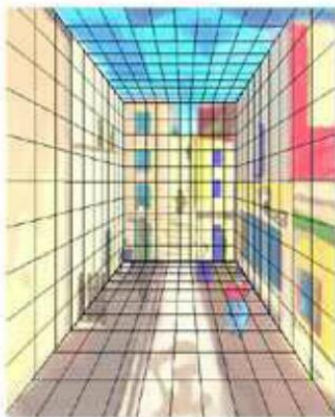


**(d) Spidery mesh**

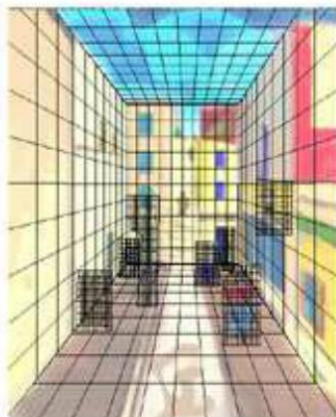
来自 icourses 胡事民

# 基于图像的漫游技术

用简单多边形构造背景和前景物体



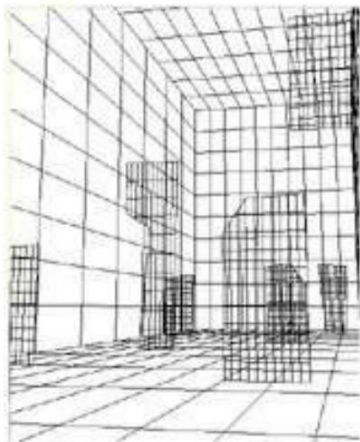
**(e) Background model**



**(f) Foreground model**

来自 icourses 胡事民

# 基于图像的漫游技术



**(g) Camera positioning**

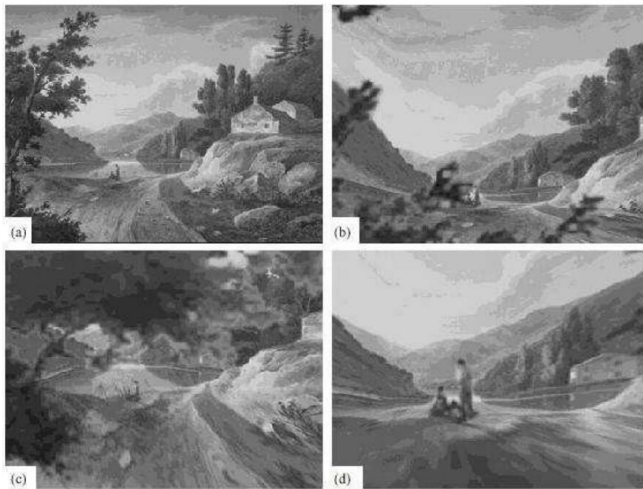


**(h) Rendered image**

来自 icourses 胡事民



# 基于图像的漫游技术



来自 icourses 胡事民

# 基于图像的漫游技术



(a) Input image



(b) Rendered image



(c) Rendered image



(d) Rendered image

# 基于图像的漫游技术



(a) Input image



(b) Foreground model



(c) Rendered image

来自 icourses 胡事民

# 基于图像的漫游技术

香港科大的改进

- 针对 TIP 局部性，动画时间短的缺点，科大提出多透视的大场景的 TIP 技术

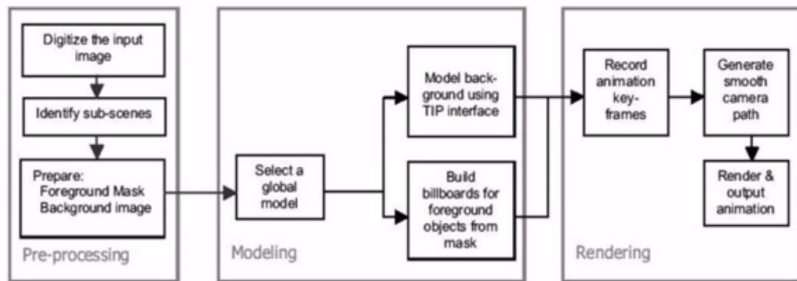


Figure 1. Overview of an animation system based on multi-perspective TIP

来自 icourses 胡事民

# 基于图像的漫游技术

## 子场景间的变换

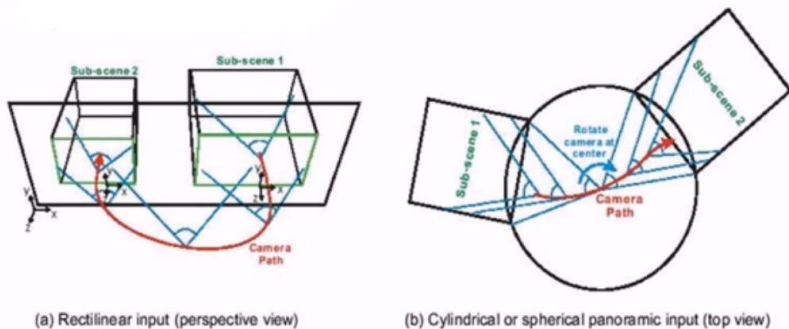


Figure 3. A camera path from one sub-scene to another

来自 icourses 胡事民

S. H. Chu and C. L. Tai, Animating Chinese landscape paintings and panorama using multi-perspective modeling, Comp. Graph. International, 2001.

# 图像与几何相结合的建模方法

基于图像与几何相结合的建模技术有两种形式：

- 模型 + 贴图形式；
- 背景 + 模型形式。

# 图像与几何相结合的建模方法

## 模型 + 贴图形式

- 模型 + 贴图形式的原理是根据不同视角的被建模物体的照片，通过建模软件多视图的点、线位置采样，然后分区块构建模型。这种方式建模是使图像与几何结合的建模技术尽最大程度地挖掘建模技术的潜力，把高仿真度的图像映射于简单的对象模型，在几乎不牺牲三维模型真实度的情况下，可以极大地减少模型的网格数量

# 图像与几何相结合的建模方法

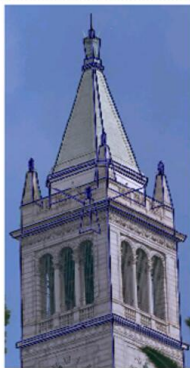
模型 + 贴图形式



(a) 原图



(b) 建模



(c) 截图



(d) 贴图

来自 [1]



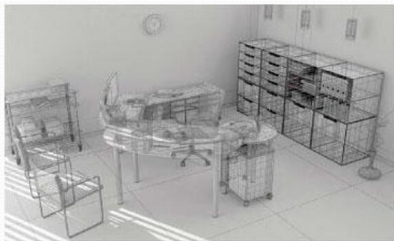
# 图像与几何相结合的建模方法

## 模型 + 贴图形式

- 准备工作：利用照相机从不同的角度对建筑物进行拍照，通常为前、后、左、右、顶方向，然后使用建筑照片重新进行空间位置和形状上的还原，形成三维的建筑物模型。
- 利用三维空间信息创建建筑物外形
- 构造三维模型：运用 3DSMAX 软件边界线造型命令，根据轮廓线依次创建三维曲面，在保证建筑物外形的情况下，作最大限度的优化。
- 贴图：由图像代替了几何建模，较真实地再现了物体的细节，并减少了系统的运行时间

# 图像与几何相结合的建模方法

模型 + 贴图形式



(a)模型图



(b)贴图后的效果图

来自 [1]

# 图像与几何相结合的建模方法

## 背景 + 模型形式

- 背景 + 模型方式：例如虚拟实验室，虚拟仪器需要结构清晰、实时动态交互和显示，采用几何建模。被称为虚拟背景的墙壁和窗户等周围环境结构较复杂，仅用于浏览观看，例如壁画等，采用图像建模方法。两种方法融合而成的虚拟环境，不仅解决了运行速度的问题，又使环境具有照片质量的真实感。
- 背景 + 模型的建模方法构建的虚拟环境存在着视觉一致性的问题。即如何将几何建模构建的虚拟对象与图像建模构建的背景完全融合，满足用户的视觉一致性。

# 图像与几何相结合的建模方法

背景 + 模型形式

虚拟模型



背景照片



数控加工的虚拟车间

来自 [1]

## 三维对象的视觉外观

场景光照和纹理映射可以实现场景的复杂度和真实感。

- 场景光照: 决定了对象表面的光强度, 可分为局部光照 (Phong 光照、Gouraud 明暗处理、Phong 明暗处理) 和整体光照 (BRDF) 两类。
- 纹理映射: 是在不增加表面多边形数目的情况下提高图像真实感的一种有效方法, 包括凹凸映射、法向映射等。

# Any Questions?