



# 虚拟现实技术

## Virtual Reality Technology

金枝

中山大学智能工程学院 2019秋季课程



# 本堂课内容

复习上堂课内容

虚拟现实系统的输出设备

- 1 了解图形显示设备的概念;
- 2 了解声音输出设备的概念;



# 复习题

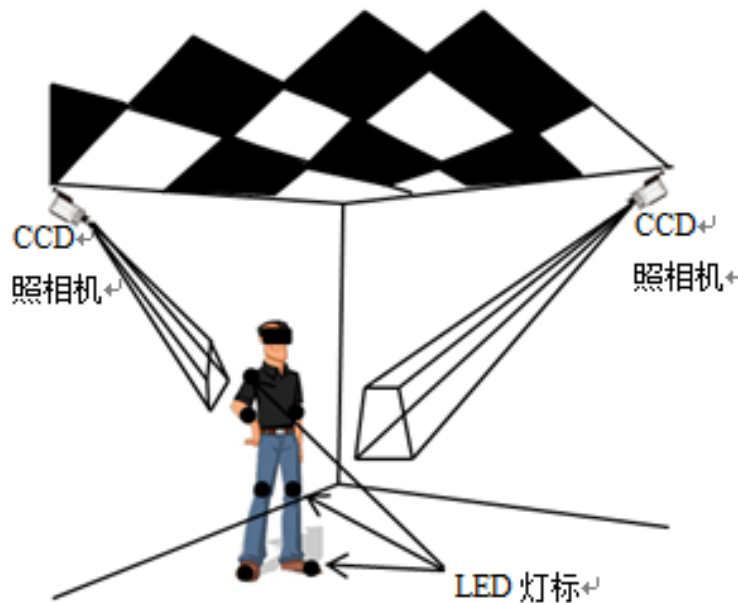
## 填空题

1. 光学跟踪器有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种标记方式。
2. 常用的人机交互设备有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
3. 快速建模设备包括：\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
4. 超声波跟踪器的测量方法分为：\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
5. 请简述超声波跟踪器的工作原理。

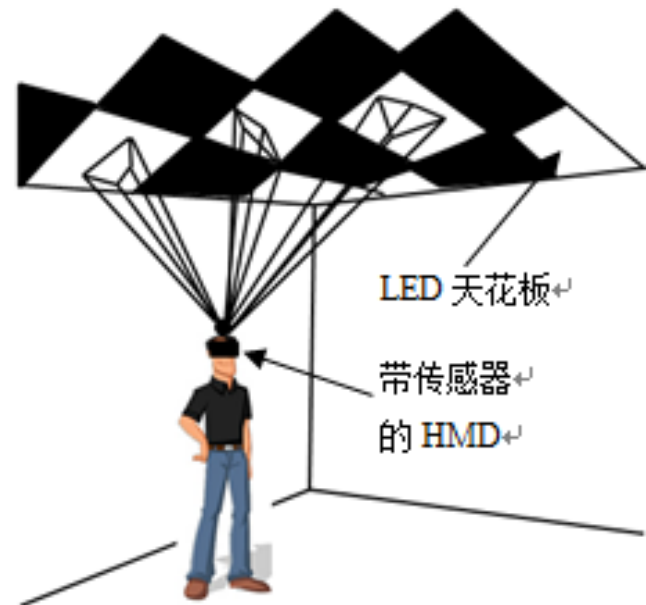


## 1.1 跟踪定位设备

- 光学跟踪器（Optical Trackers）是一种非接触式的位置测量设备，使用光学感知来确定对象的实时位置和方向。



(a) 从外向里看



(b) 从里往外看



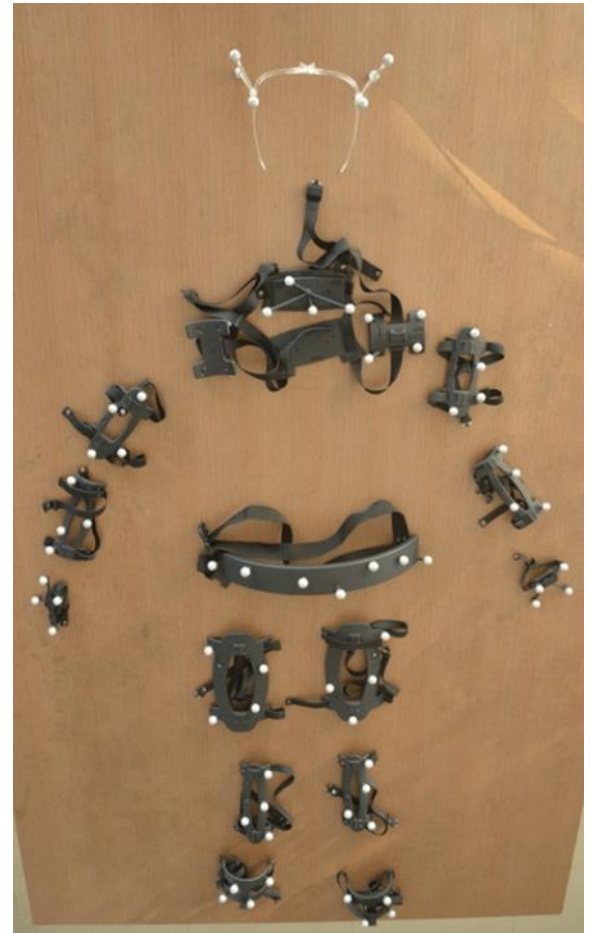
# 复习题

## 填空题

1. 光学跟踪器有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种标记方式。
2. 常用的人机交互设备有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
3. 快速建模设备包括：\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
4. 超声波跟踪器的测量方法分为：\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
5. 请简述超声波跟踪器的工作原理。



## 1.2 虚拟现实系统的交互接口





# 复习题

## 填空题

1. 光学跟踪器有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种标记方式。
2. 常用的人机交互设备有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
3. 快速建模设备包括：\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
4. 超声波跟踪器的测量方法分为：\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
5. 请简述超声波跟踪器的工作原理。



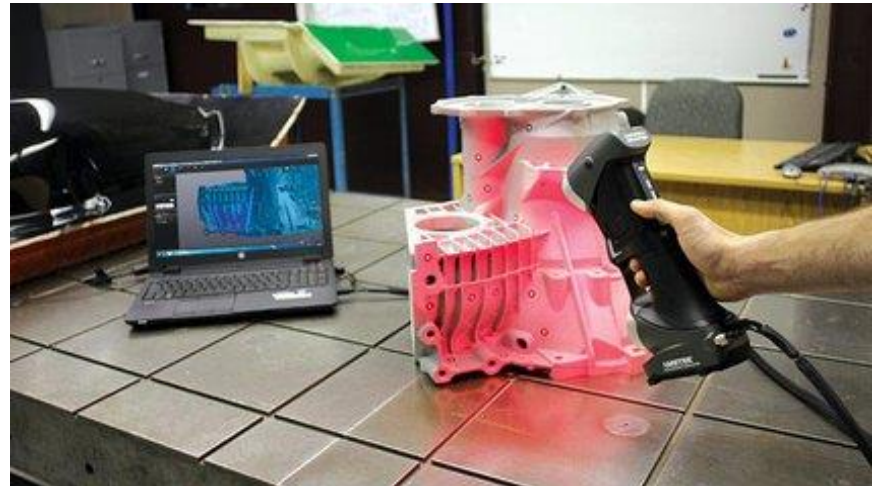


## 1.3 快速建模设备

### 3D摄像机



### 3D扫描仪







# 复习题

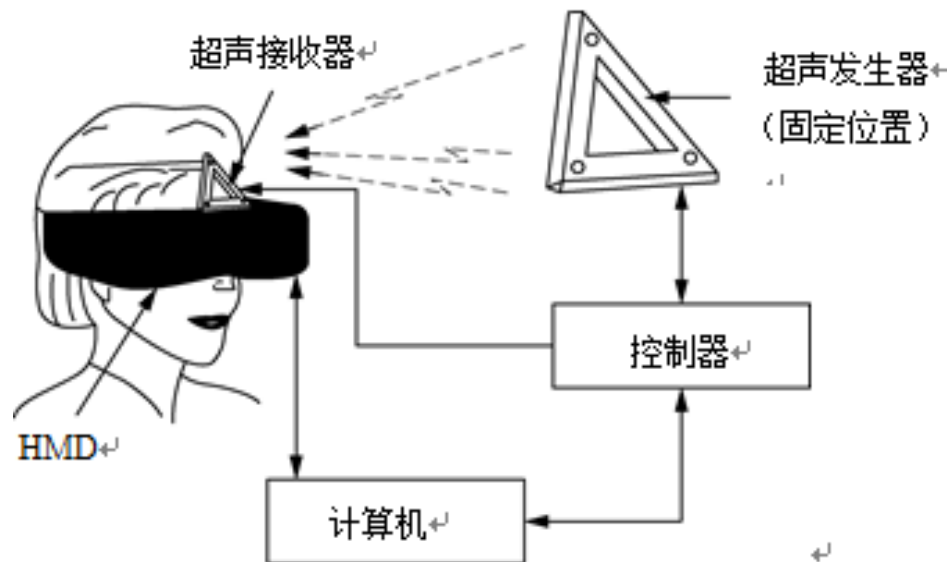
## 填空题

1. 光学跟踪器有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种标记方式。
2. 常用的人机交互设备有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
3. 快速建模设备包括：\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
4. 超声波跟踪器的测量方法分为：\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
5. 请简述超声波跟踪器的工作原理。



## 1.1 跟踪定位设备

- **超声波跟踪器**（Ultrasonic Trackers）是声学跟踪技术最常用的一种，是一种非接触式的位置测量设备，使用固定发射器产生的超声信号来确定移动接收单元的实时位置。





## 1.1 跟踪定位设备

- 根据不同的测量原理来，超声波位置跟踪设备的测量方法分为两种：**飞行时间法**（Time-of-Flight）和**相位相干法**（Phase-Coherent）
- 测量飞行时间法（TOF）是基于三角测量的。周期性地激活各个发射器轮流发出高频的超声波，测量到达各个接受点的飞行时间，由此利用声音的速度得到发射点与接受点的之间的九个距离，再由三角运算得到被测物体的位置。

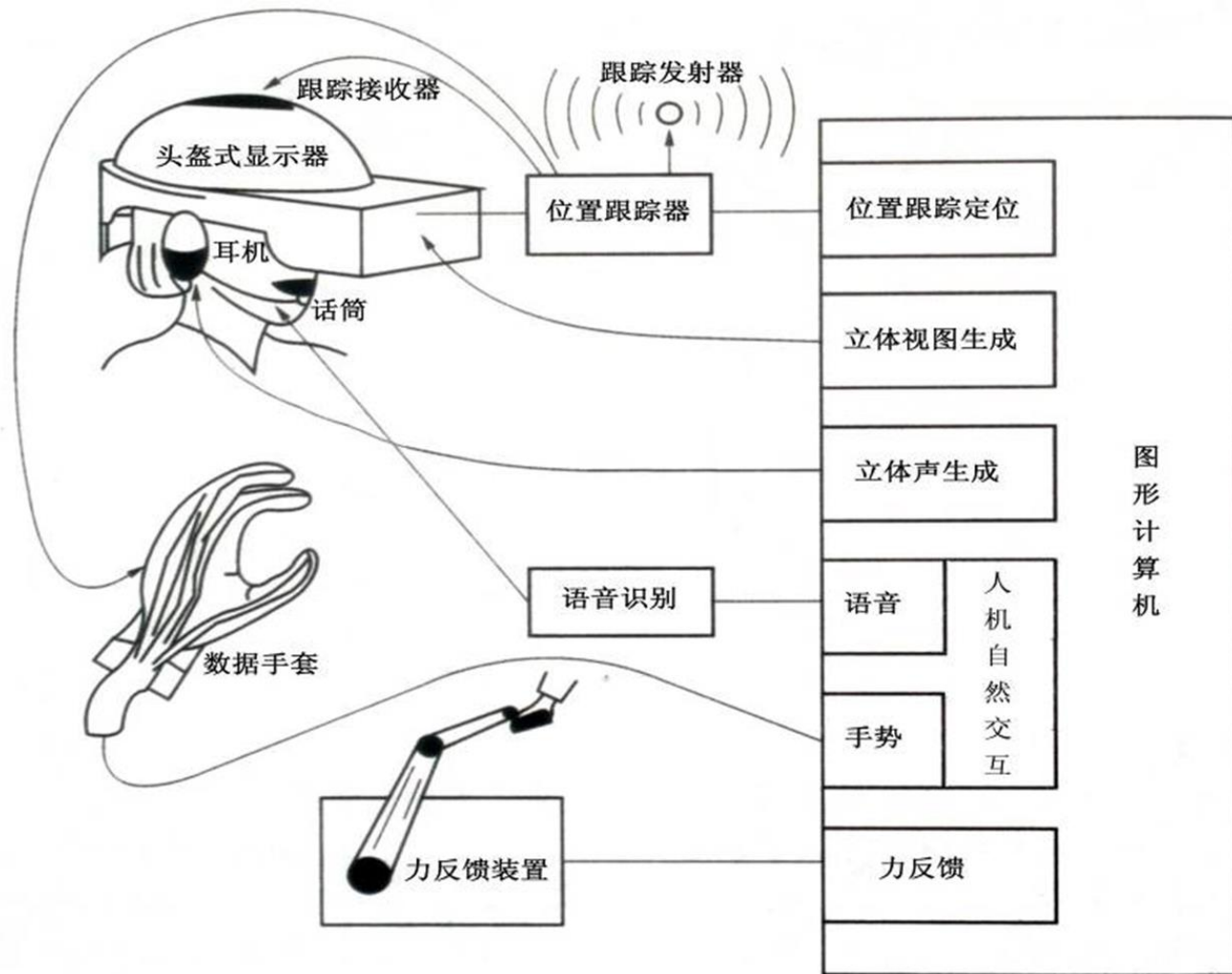


## 1.1 跟踪定位设备

- 相位相干法（PC）的工作过程为：在测量相位差的方式中，各个发射器发出高频的超声波，测量到达各个接受点的相位差来得到点与点的距离，再由三角运算得到被测物体的位置。声波是正弦波，发射器与接受器的声波之间存在相位差，这个相位差也与距离有关。这种测量方法是基于相对距离的，无法得知目标的绝对距离，每步的测量误差会随时间而积累。绝对距离必须在初始由其它设备校准。



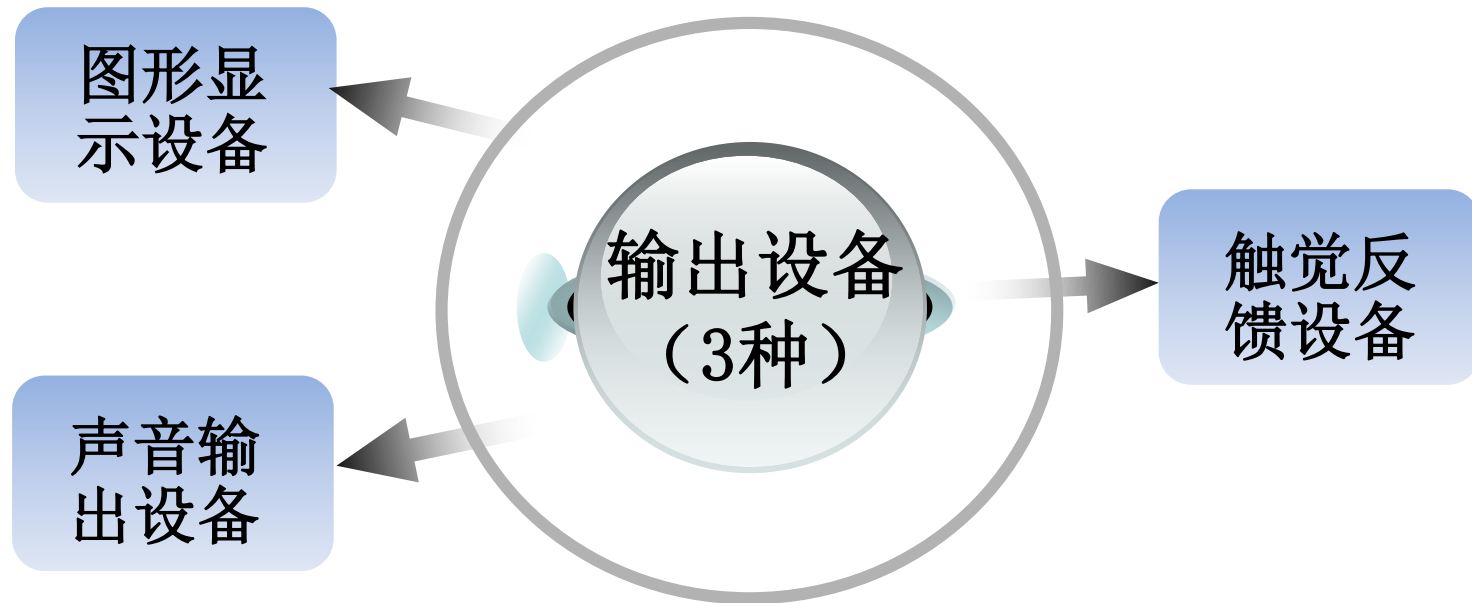
# 虚拟现实系统





# 虚拟现实系统输出设备

**输出设备：** 为用户提供仿真过程对输入的反馈，通过输出接口给用户产生反馈的感觉通道。







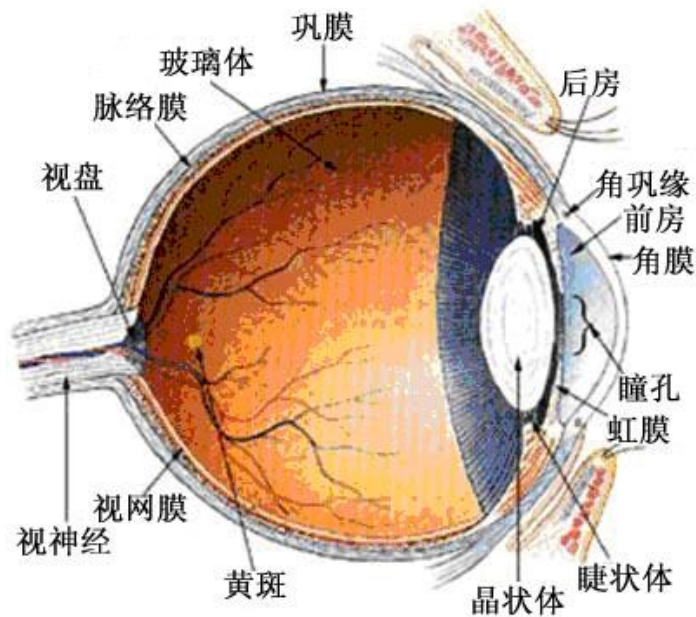
# 1 图形显示设备

要设计图形显示设备，必须先了解人类的视觉系统。一个有效的图形显示设备需要使它的图像特性与人类观察到的合成场景相匹配。

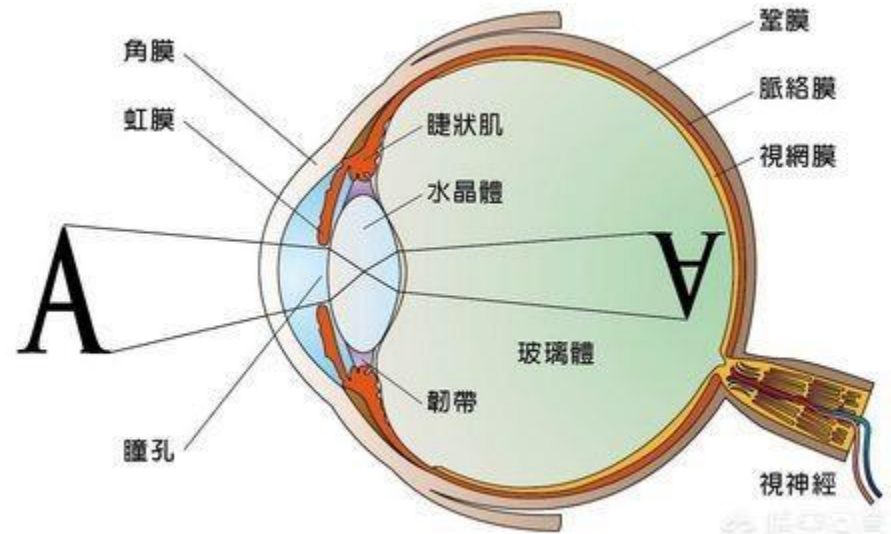


# 1.1 人类视觉模型

## 视觉生理结构



人眼的生理结构图

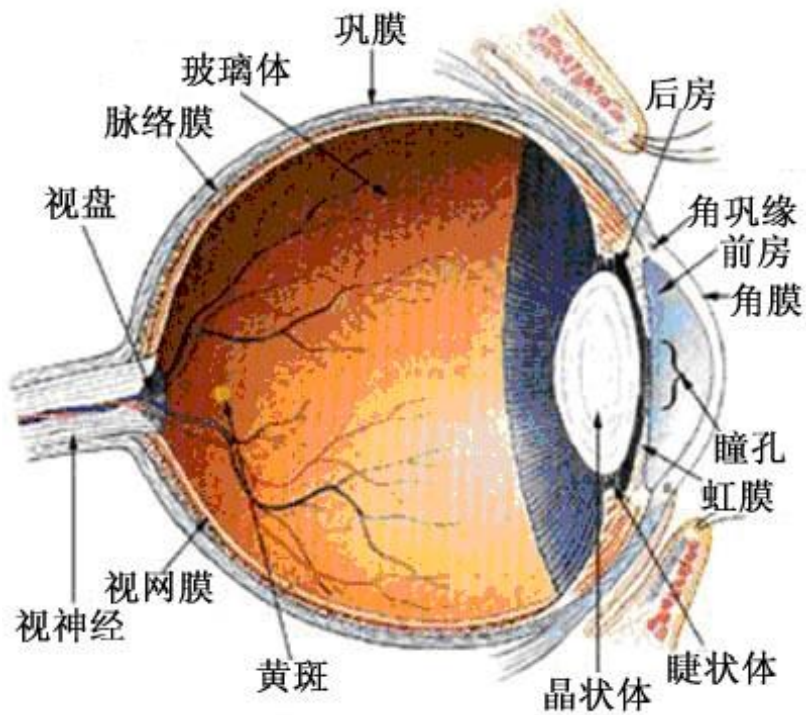


物体在人眼成像图

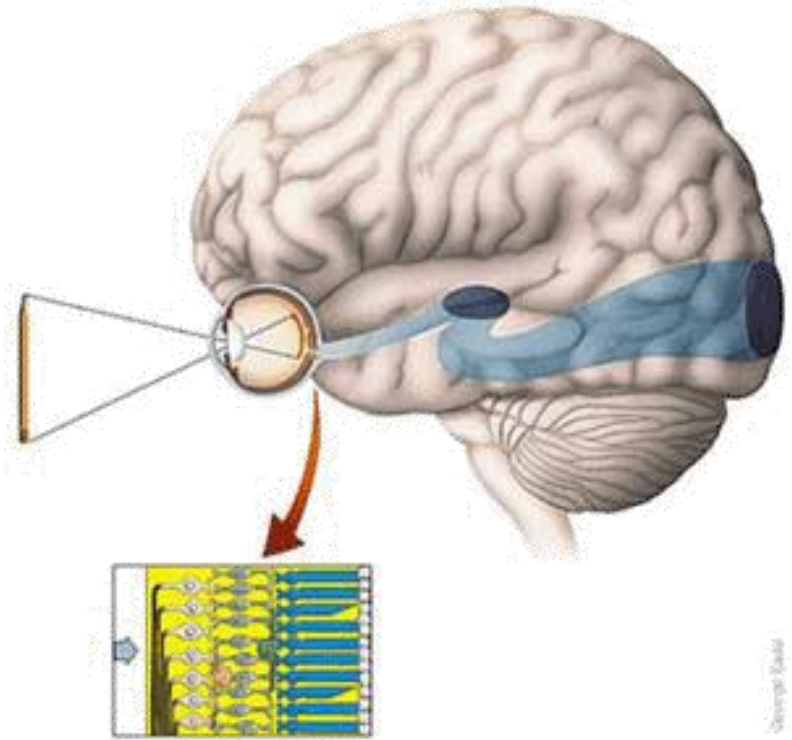


# 1.1 人类视觉模型

## 视觉生理结构



人眼的生理结构图



物体在人脑成像图



# 1.1 人类视觉模型

人类视觉系统的特性如下：

## 特性一：中央凹与聚焦区

- ◆ 人眼有126 000 000个感光器，这些感光器不均匀地分布在视网膜上。视网膜的中心区域称为**中央凹**，它是高分辨率的色彩感知区域，周围是低分辨率的感知区域。
- ◆ 被投影到中央凹的图像代表**聚焦区**。在仿真过程中，观察者的焦点是无意识地动态变化的。如果能跟踪到眼睛的动态变化，就可以探测到焦点的变化。



# 1.1 人类视觉模型

## 人类视觉系统特性一（延伸）

### 屈光

眼睛折射光线的作用叫**屈光**，用光焦度来表示屈光的能力，叫做屈光度。屈光度是与眼的光学部分有关的一个度量。人眼的聚焦能力约**60**屈光度，这表明聚焦平行光在**17mm**距离，这就是眼球尺寸，即晶状体和视网膜的距离。

人通过改变眼睛的屈光度来保证远近物体能够在视网膜上正确成像，获得清晰的图像。在注视运动物体时，眼睛的屈光度可以自动调节。屈光度的改变被称为聚焦。其作用是保证某个距离的物体清晰，而其它距离物体模糊。这起了滤波器的作用，使人集中关注视场中部分区域。

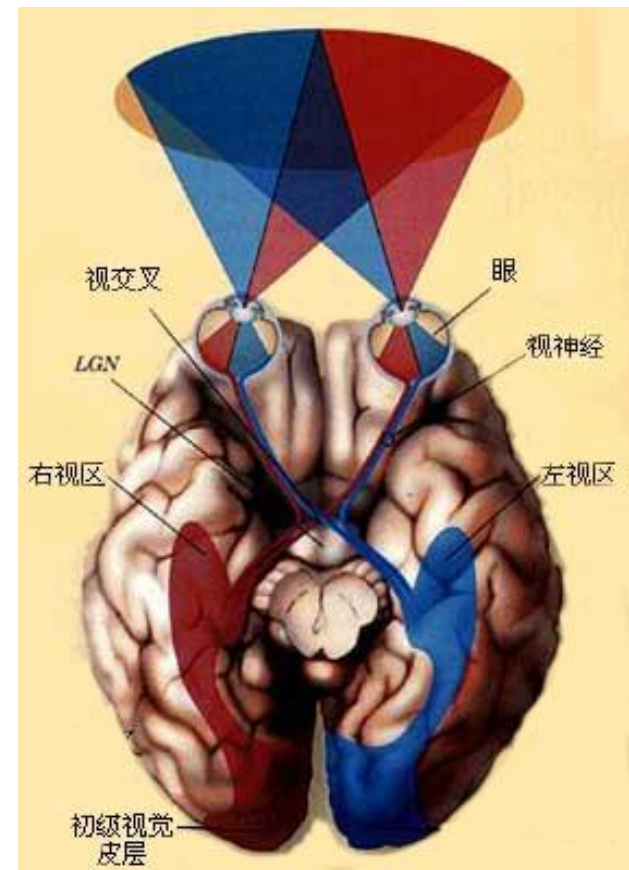




# 1.1 人类视觉模型

## 特性二：立体视觉

- ◆ 人们感觉到空间立体感，形成立体视觉主要是因为人类的左右双眼的视野存在很大的重叠。与此同时，人的双眼之间有6-8cm的距离，看同一物体，双眼会获得稍有差别的视图。
- ◆ 大脑利用两只眼睛看到的图像位置的水平位移测量深度，也就是观察者到场景中虚拟对象的距离。



立体视觉形成原理图





# 1.1 人类视觉模型

## 人类视觉系统特性二（延伸）

用两只眼睛同时观察一个物体时，物体上的每个点对两只眼睛都存在一个张角。物体离双眼越近，其上的每个点对双眼的张角就越大，所形成的双眼视差也越大。

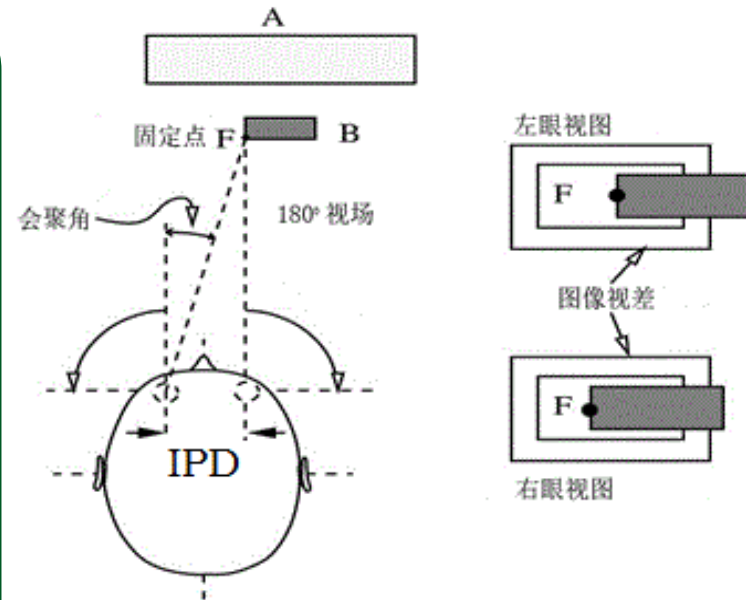
双眼视差可以区分物体的远近，并获得深度的立体感。对于距离遥远的打，因为双眼的视线几乎平行，视察偏移接近于零，所以就很难判断物体的距离，无法产生立体感。e.g., 仰望星空时，会觉得天上的星星没有远近之分都在一个球面上。



# 1.1 人类视觉模型

## 特性三：视场与会聚角

- ◆ 视场(Field Of View, 简称FOV)。一只眼睛的水平视场大约 $150^\circ$ ，垂直视场大约 $120^\circ$ ；双眼水平视场大约 $180^\circ$ ，垂直视场大约 $120^\circ$ ，如右图所示。观察体的中心部分是立体影像区域，在这里两只眼睛定位同一幅图像，水平重叠的部分大约为 $120^\circ$ 。



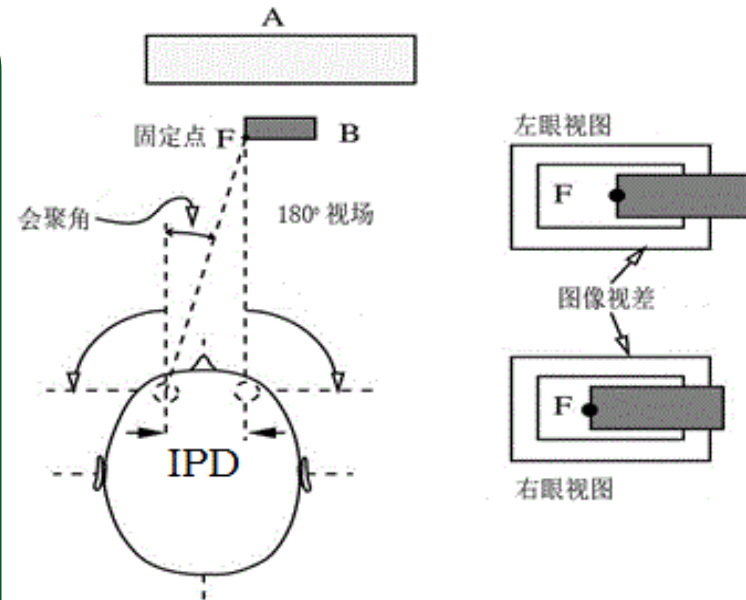
人类立体视觉的生理模型



# 1.1 人类视觉模型

## 特性三：视场与会聚角

- ◆ 在视场中，当目光聚焦在固定点F上时，视轴和固定点F的连线之间的夹角确定了会聚角，如右图所示。这个角度同时也依赖于左眼瞳孔和右眼瞳孔之间的距离，这个距离称为内瞳距（IPD）。



人类立体视觉的生理模型



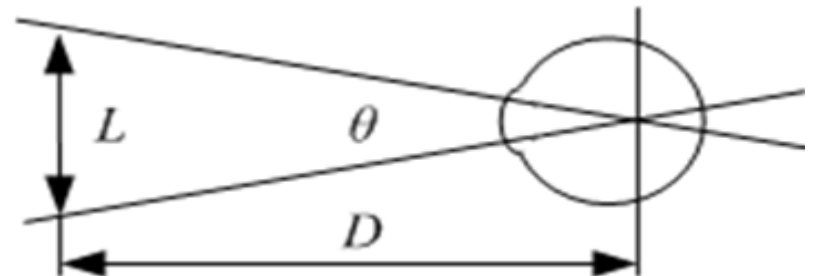
# 1.1 人类视觉模型

## 人类视觉系统特性三（延伸）

### 视角

视角是视觉感知中对可见目标大小的测量。可见目标在视网膜上的投影大小能够决定视觉感知的质量。一般认为理想的目标大小为：在正常光照条件下视角不应该小于 $15^\circ$ ，在较低光照下视角不应该小于 $21^\circ$ 。这是视景生成和头盔显示过程中的重要参考系数。视角 $\theta$ 可由以下公式求出：

$$\theta = 2 \arctan \frac{L}{2D}$$



# 1.1 人类视觉模型

## 人类视觉系统的其他特性 分辨率



分辨率是人眼区分两个点的能力。当空间平面上两个黑点相互靠拢到一定程度时，离开黑点一定距离的观察者就无法区分它们，这意味着人眼分辨景物细节的能力是有限的，这个极限值就是分辨率。

目前，科学界公认的数据表明，人观看物体时，能够清晰看清视场区域对应的分辨率约为 $2169 \times 1213$ ，再考虑左右比较模糊的区域，人眼的分辨率约为 $6000 \times 4000$ 像素。



# 1.1 人类视觉模型

## 人类视觉系统的其他特性 视觉暂留：

又称“余晖效应”，1824年由英国伦敦大学教授皮特·马克·罗葛特在他的研究报告《移动物体的视觉暂留现象》中最先提出。人眼观看物体时，成像于视网膜上，并由视神经输入人脑，感觉到物体的像。但当物体移去时，视神经对物体的印象不会立即消失，而要延续0.1~0.4秒的时间，人眼的这种性质被称为视觉暂留。

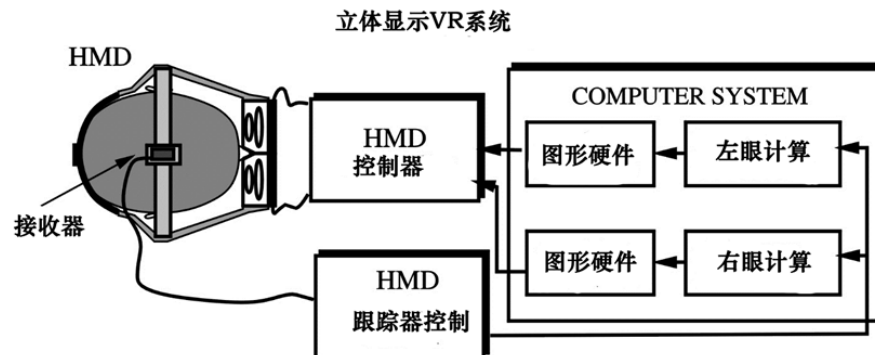






## 1.2 头盔显示器

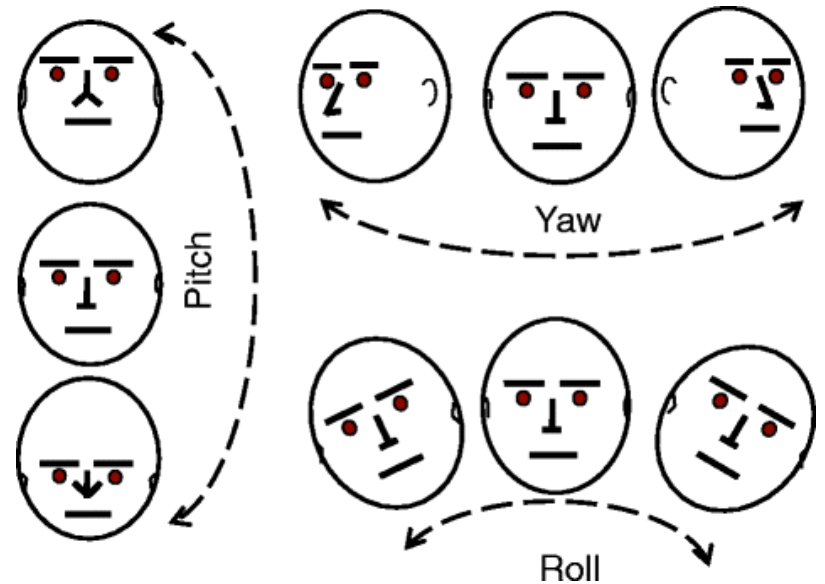
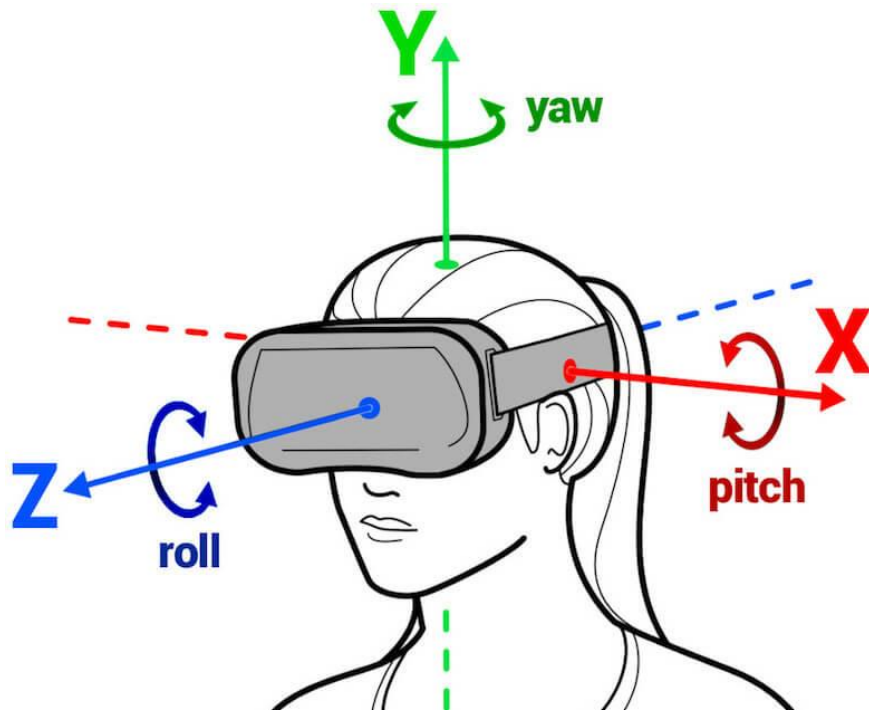
- 头盔显示器（Head Mounted Display，简称HMD），常见的立体显示设备，利用头盔显示器将人对外界的视觉、听觉封闭，引导用户产生一种身在虚拟环境中的感觉。
- 头盔显示器通常由两个LCD或CRT显示器分别显示左右眼的图像，这两个图像由计算机分别驱动，两个图像间存在着微小的差别，人眼获取这种带有差异的信息后在脑海中产生立体感。





## 1.2 头盔显示器

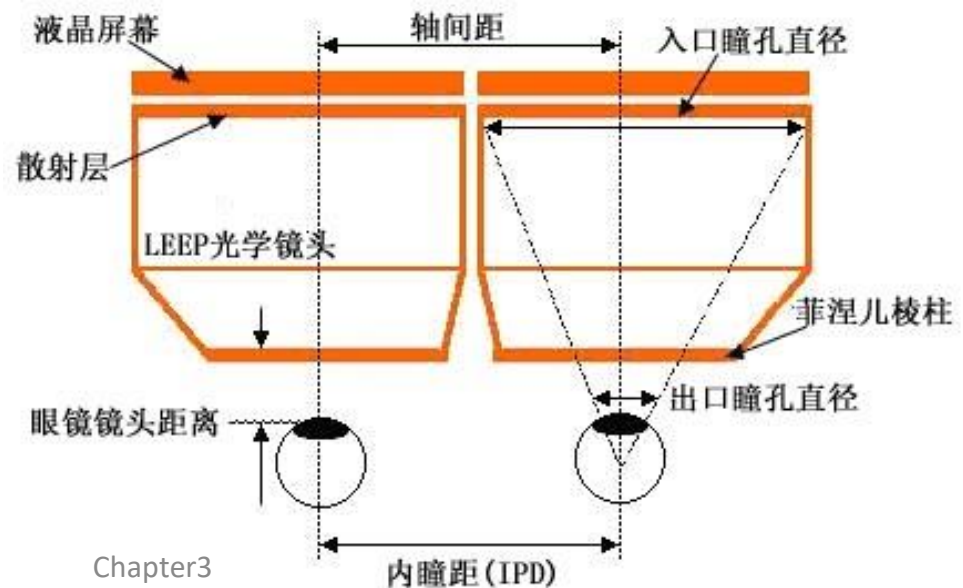
- 头盔显示器主要由显示器和光学透镜组成，辅以3个自由度的空间跟踪定位器。





## 1.2 头盔显示器

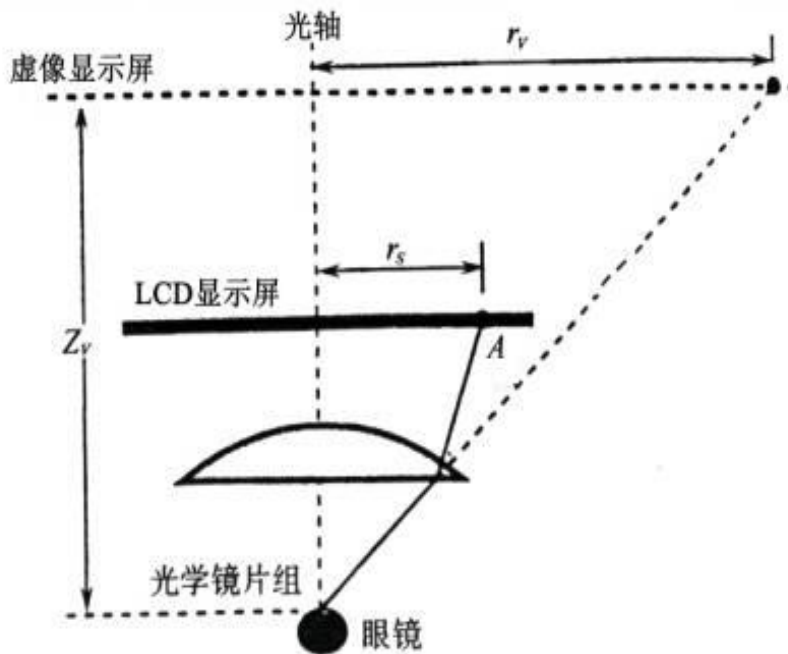
- 由于头盔显示器所用屏幕离眼睛很近。因此，为了使眼睛聚焦于如此近的距离而不易产生疲劳，需要使用专门的镜片。并且此镜片必须能够放大图像，向双眼提供尽可能宽的视野。在1979年首次推出了这种镜片，被称为LEEP镜片。LEEP镜片的特征是它们使用输出成像极其宽阔的透镜。



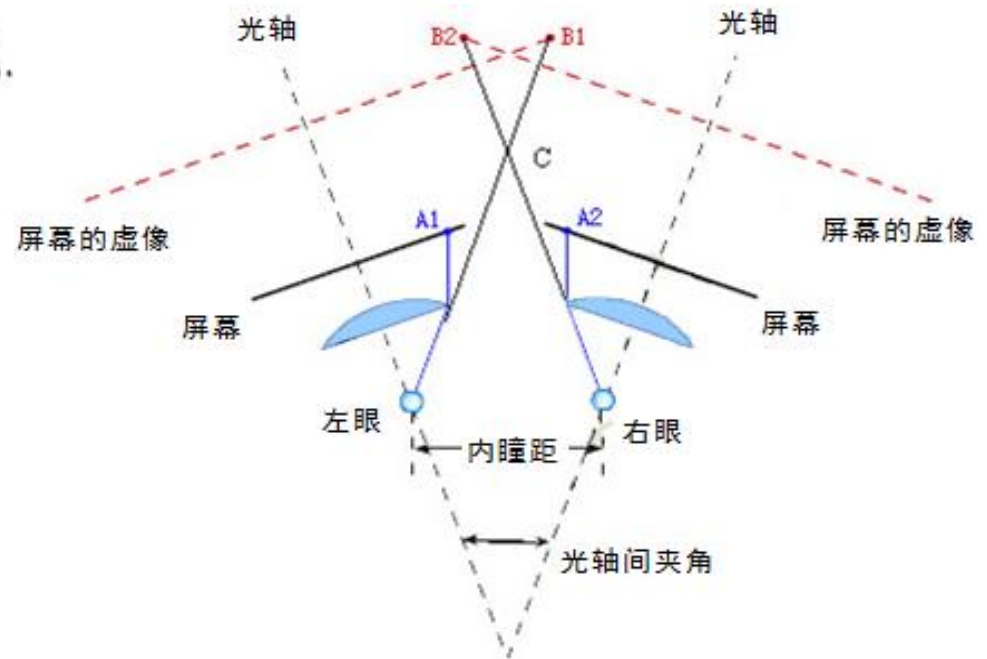


# 1.2 头盔显示器

## LEEP 光学系统



单眼光学模型



双眼立体光学模型



## 1.2 头盔显示器



1956 -  
SENSORAMA



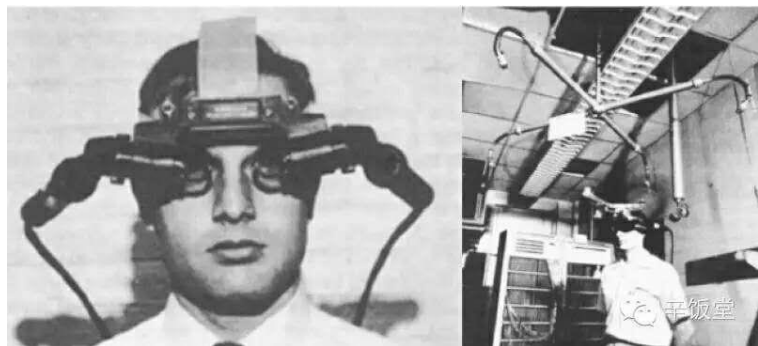
1979 - LEEP 镜片



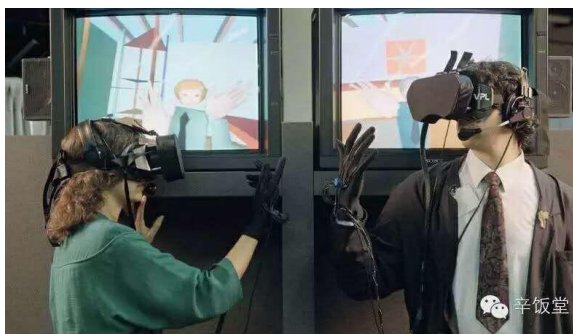
1991 - VIRTUAL RESEARCH



2012 - Oculus



1968 - 达摩克利斯之剑



1989 - VPL RESEARCH



1993 - LIQUID IMAGE





## 1.3 沉浸式立体投影系统

### 大屏幕三维立体投影显示系统

是一种最典型、最实用、最高级的沉浸式虚拟现实显示系统，根据沉浸程度的不同，通常可分为单通道立体投影系统、多通道环幕立体投影系统、CAVE投影系统、球面投影系统等。





## 1.3 沉浸式立体投影系统

### 单通道立体投影系统

通常以一台图形计算机为实时驱动平台，使用两台投影机（一台投射左眼图像，另外一台投射右眼图像），将左右眼图像同时投射到屏幕上显示一幅高分辨率的立体投影影像。



单通道立体投影系统

**优点：**能够显示优质的高分辨率三维立体投影影像；是一种低成本、操作简便、占用空间较小、具有极好性能价格比的小型虚拟三维投影显示系统。



## 1.3 沉浸式立体投影系统

### 多通道环幕（立体）投影系统

采用多台投影机组合而成的多通道大屏幕显示系统，系统采用环形的投影屏幕作为仿真应用的投射载体系统。根据环形幕半径的大小，通常为120、135、180、240、270、360度弧度不等。



多通道环幕立体投影显示系统

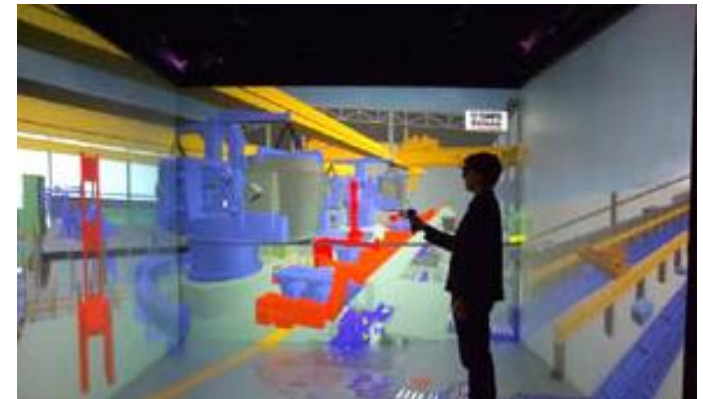
**优点：**具备更大的显示尺寸、更宽的视野、更多的显示内容、更高的显示分辨率，以及更具冲击力和沉浸感的视觉效果。



## 1.3 沉浸式立体投影系统

### CAVE沉浸式虚拟现实显示系统

是一种基于多通道视景同步技术、三维空间整形校正算法、立体显示技术的房间式可视协同环境。



CAVE沉浸式虚拟现实  
显示系统

**优点：**该系统可提供一个同房间大小的四面（或六面）立方体投影显示空间，供多人参与，所有参与者均完全沉浸在一个被三维立体投影画面包围的高级虚拟仿真环境中，提供给使用者一种前所未有的带有震撼性的身临其境的沉浸感。



## 1.3 沉浸式立体投影系统

### 球面投影显示系统

近年来最新出现的沉浸式虚拟现实显示方式，也是采用三维投影显示的方式予以实现。



**优点：**视野非常广阔，覆盖了观察者的所有视野，从而令使用者完全置身于飞行场景中，给人身临其境的沉浸感。



## 1.4 立体眼镜

立体眼镜以其简单的结构、轻巧的外形和低廉的价格，而且佩戴很长时间眼睛也不至于疲劳，成为虚拟现实观察设备理想的选择。

目前主要有两类立体眼镜：有源立体眼镜（主动立体眼镜），无源立体眼镜（被动立体眼镜）。



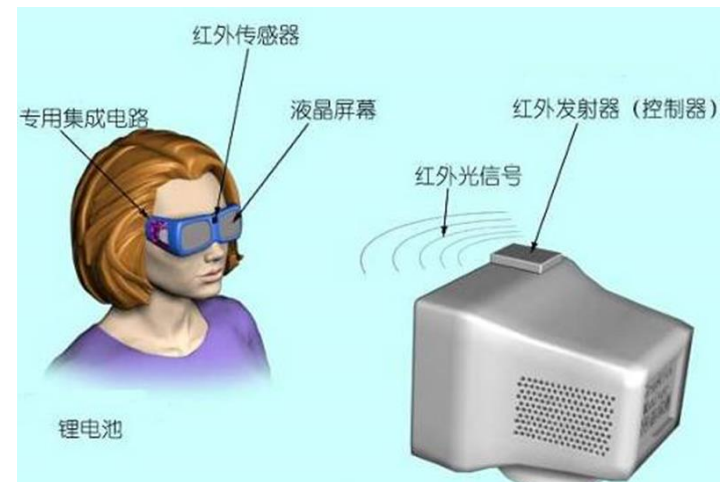




## 1.4 立体眼镜

### 有源立体眼镜

镜框上装有电池及液晶调制器控制的镜片。立体显示器有红外线发射器，根据显示器显示左右眼视图的频率发射红外线控制信号。液晶调制器接收红外线控制器发出的信号，通过调节左右镜片上液晶光栅来控制开或者关，即控制左右镜片的透明或不透明状态。







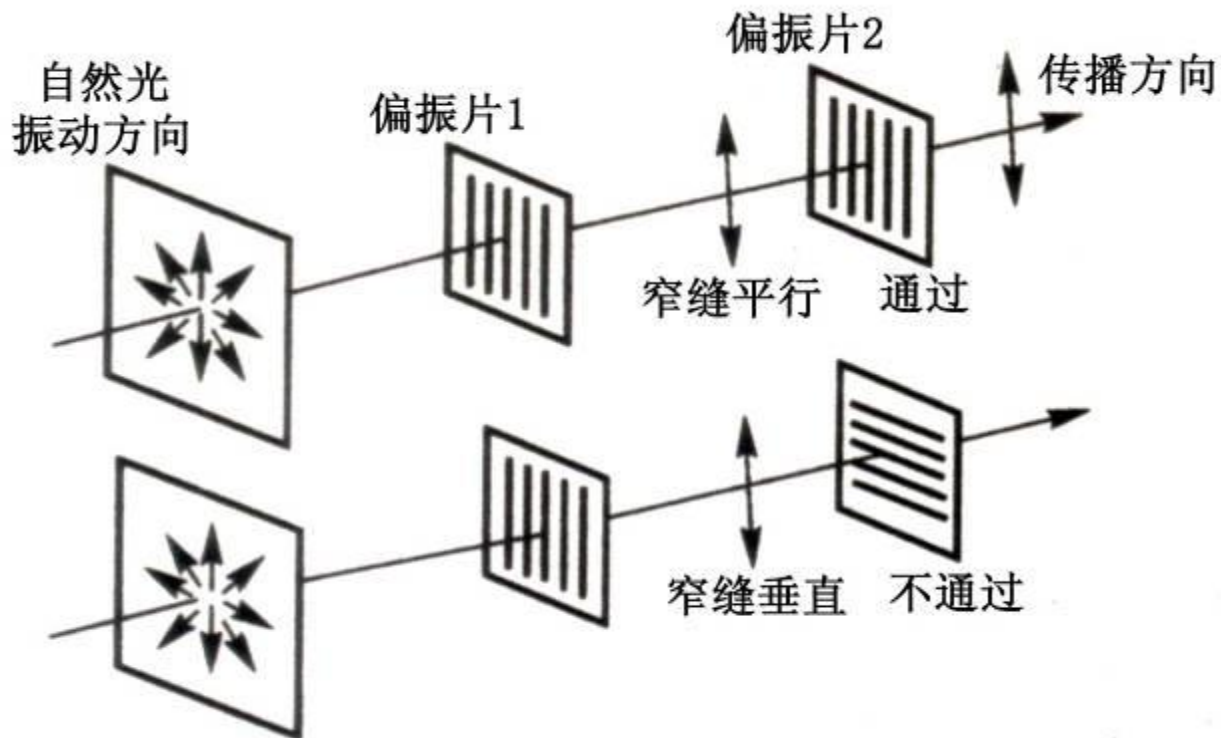
## 1.4 立体眼镜

### 无源立体眼镜

无源立体眼镜通常根据光的偏振原理设计的。每一个偏振片中的晶体物质排列整体形成如同光栅一样的极细窄缝，使只有振动方向与窄缝方向相同的光通过，成为偏振光。当光通过第一个偏振片时就形成偏振光，只有当第二个偏振光片与第一个窄缝平行时才能通过，如果垂直则不能通过。



## 1.4 立体眼镜



光的偏振原理图



# 1 图形显示设备

分析：图形显示过程包括如下步骤：

头部运动

用户佩戴好头显后，头部开始运动，计时开始

空间定位

定位系统检测和精确确定新的头部位置和姿态

立体渲染

根据新的头部位置和姿态，计算机渲染左右眼所需要的一对立体视觉图像

扫描输出

图形硬件传输渲染完成的立体图像对到头显准备显示

显示开始

根据收到的像素数据，头显开始为每个像素发射光子

到达眼睛

光子经过透镜达到人眼，完成整个过程，计时结束



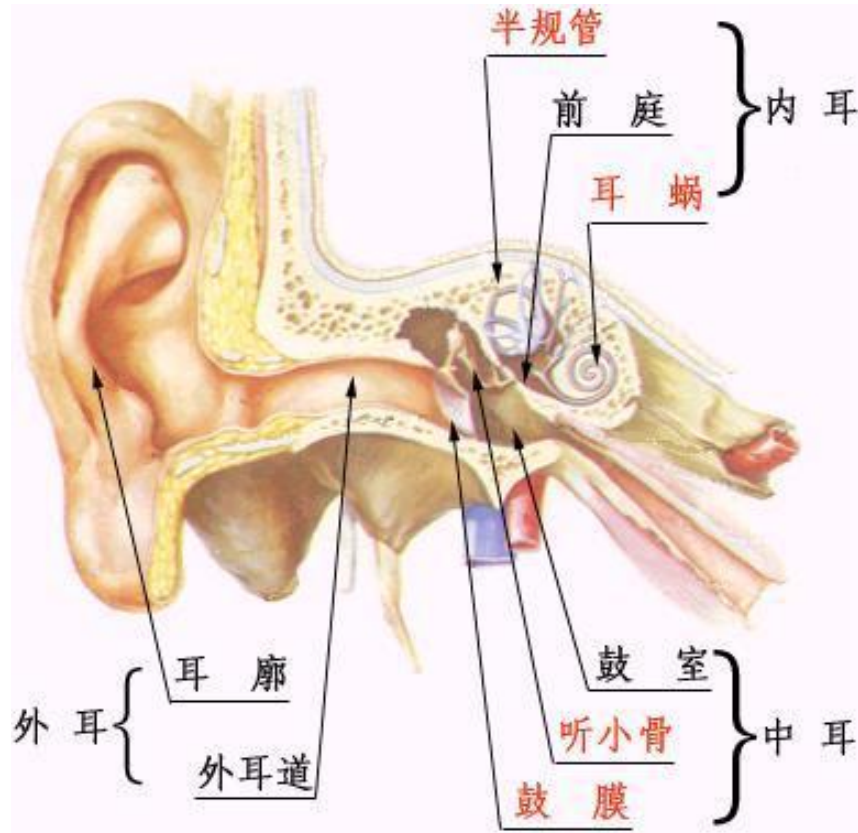
## 2 声音输出设备

**声音输出设备：**一类计算机接口，能给与虚拟世界交互的用户提供合成的声音反馈。

要产生三维声音输出设备，必须先了解**人类的听觉系统**。



## 2.1 人类的听觉系统



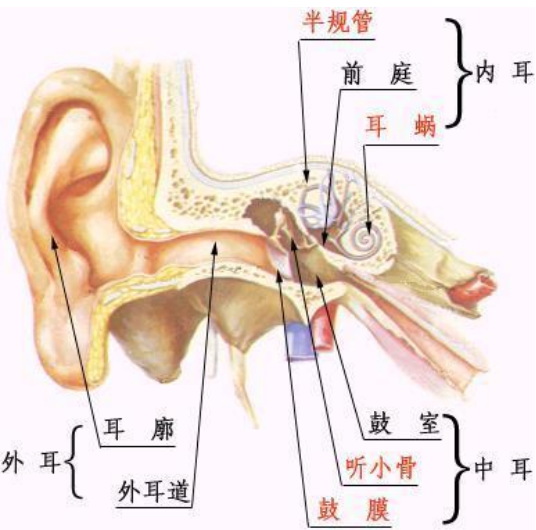
### 听觉生理结构

人耳听觉机构由具有不同作用的3部分组成，即外耳、中耳和内耳。

人耳可感知的频率范围约20Hz到20kHz。随年龄增加，频率范围缩小，特别是高频段。



## 2.1 人类的听觉系统







## 2.1 人类的听觉系统

### 声音定位

- 根据跟踪人的头进行相关研究得出，一般情况人脑识别声源位置，是利用经典的“双工理论”，即两耳收到的声音的时间差异和强度差异。
- 时间差异是指声音到达两个耳朵的时间之差。
- 强度差异指声音到达两耳的强度上的差异。
- 所以，只要到达两耳的声音存在时间差或者强度差，人就会判断出声源的方向。



## 2.2 听觉感知设备

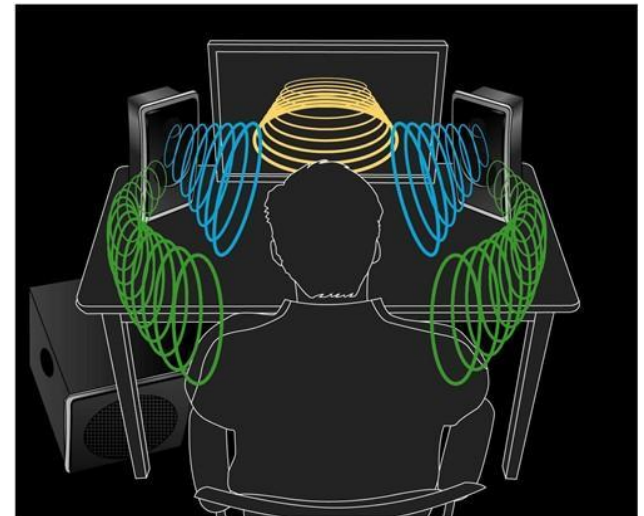
### 声音定位

- 在人的听觉模型中得知，听觉的根本就是三维声音的定位。所以，对于听觉感知设备其最核心的技术就是三维虚拟声音的定位技术。
  - 全向三维定位特性
  - 三维实时跟踪特性



## 2.2 听觉感知设备

听觉感知设备主要有耳机和扬声器两种。





### 3 触觉和力反馈设备

**触觉反馈**（Haptic）意思是接触，它们能传送一类非常重要的感官信息，帮助用户利用触觉来识别环境中的虚拟对象，并通过这些对象执行某些任务。

触觉反馈

- ◆ 传送接触表面的几何结构、虚拟对象的表面硬度、滑动和温度等实时信息。
- ◆ 它不会主动抵抗用户的触摸运动，不能阻止用户穿过虚拟表面。

力反馈

- ◆ 提供虚拟对象表面柔顺性、对象的重量和惯性等实时信息。
- ◆ 它主动抵抗用户的触摸运动，并能阻止该运动（如果反馈力比较大）。



### 3 触觉和力反馈设备

按照触觉反馈的原理，手指触觉反馈装置可以分为5类：基于视觉式、充气式、振动式、电刺激式和神经肌肉刺激式的装置。





### 3 触觉和力反馈设备

力反馈设备是运用先进的技术手段跟踪用户身体的运动，将其在虚拟物体的空间运动转换成对周边物理设备的机械运动，并施加力给用户，使用户能够体验到真实的力度感和方向感，给用户提供一个立即的，高逼真的，可信的真实交互。在实际应用中常见的力反馈设备有力反馈鼠标、力反馈操纵杆、力反馈手臂以及力反馈手套。





### 3 触觉和力反馈设备



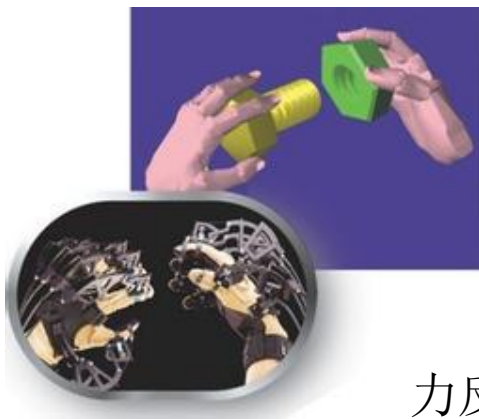
力反馈鼠标



力反馈操纵杆



力反馈手柄



力反馈手套



## 本章小结

- 本章介绍了VR专用的输出设备，通过输出接口给用户产生反馈的感觉通道，包括视觉（通过图形显示设备）、听觉（通过三维声音输出设备）和触觉（通过触觉反馈）。



# Thanks !