人的听觉机能及其特征

* 听觉刺激
  + 听觉的适宜刺激是声音
  + 感受性最高的频率范围：1000~4000Hz
* 听觉系统
  + 主要起作用的部位：内耳耳蜗
  + 声波经由外耳-鼓膜-听骨链-前庭窗-内耳淋巴，内耳淋巴波动时即振动基底膜，由螺旋器（Corti氏器上的毛细胞将声音刺激转换为电信号）
    - 前庭中的其他感受器还能感知人的空间位置和速度
* 声学常识
  + 声功率（W）：单位时间内，声波通过垂直于传播方向某指定面积的声能量，单位为W。
  + 声强（I）：单位时间内，声波通过垂直于传播方向单位面积的声能量，单位为W/m²。
  + 声压（P）：由于声波存在而引起的压力增值，单位为Pa。
  + 声压级（分贝）
    - 分贝：是声压级的单位。广义上分贝定义为两个相同的物理量之比取常用对数并乘10（或20）
    - 计算机生成了可选文字:
      N=101g(A/A())orN=201A/Ao)
      式中：AO是基准量（或参考量），A是实测度量
    - 分贝符号：dB，无量纲
    - 声压级
    - 计算机生成了可选文字:
      式中：
      P
      =201g（P/PO
      L
      P
      实测声压(Pa)；
      基准声压，为2×]0．5Pa，
      该值是对1000HZ的纯音，人耳刚能听到的最低声压
  + 声功率级
    - 
      * W——实测声功率
      * W0——基准声功率，10^(-12)W
  + 声强级
    - 计算机生成了可选文字:
      L
      =101g(I/10)
      * I——实测声强
      * I0——基准声强，10^(-12)W/m²
  + 响度
    - 响度（N）是人耳判别声音由轻到响的强度等级，与声音强度、频率、波形有关
    - 单位为“宋”，1宋定义为声压级为40dB，频率为1000Hz，且来自听者正前方的平面声波的强度
    - 如果另一个声音听起来是1宋声音的n倍，那么该声音的响度为n宋
  + 响度级
    - 响度级用Ln表示，单位是“方”
    - 如果一个声音听起来与声压级为80dB，频率为1000Hz的纯音一样响，则该声音的响度级就是80方
    - ISO等响曲线
      * 计算机生成了可选文字:
        0`•i：：-0到00》
        120
        0，生-郾到的到，`：ii-
        100
        100
        0&丶i：吕i00：乶：：，-
        0000身灬到思思
        过丝孬亠
        20
        100
        10（》
        500010000
  + 响度与响度级
    - 换算公式
    - 计算机生成了可选文字:
      （一40）/10
      =40+1010g2」V
* 人听觉的生理特征
  + 人的听觉感受器可以区分声音的音调（频率）、声强、方向、音色，还有声音记忆
    - 频率响应：可以同时接受多个音频形成音色、音场的感觉
    - 动态范围：人耳对不同频率的声音，有不同的声强感知范围
    - 方向敏感度
    - 听觉掩蔽
    - 其他
  + 频率响应
    - 人耳能听到的频率比为fmin/fmax=1：1000
    - 频率感受的上限随着年龄的增长而逐年下降，对高频越来越不敏感
    - **频率响应特性对听觉传输设备的设计**很重要
  + 动态范围
    - 听觉声强动态范围=正好可以忍受的声强/正好可以听见的声强
    - 计算机生成了可选文字:
      盟瓢黼0《緗0
      《《《11111，即0ii《过
      管弦乐
      到珊Illi跹00誦能
      10一以
      听阈
    - 听阈：在最佳的听闻频率范围内，一个听力正常的人刚刚能听到给定各种频率的正弦纯音的最低声强
      * 在800-1500Hz，听阈无明显变化
      * 低于800Hz，可听到声音的强度随着频率降低有明显增强
      * 在3000-4000Hz之间，听觉灵敏度最高
      * 超过6000Hz，灵敏度又下降
    - 痛阈：对感受给定各种频率的正弦纯音，开始产生疼痛感的声强
    - 听觉范围：**听阈到痛阈**
  + 方向敏感度（双耳效应）
    - 声音到达双耳的时间差=Δt，人能察觉的声音信号入射最小偏角是3°，Δt=30us
    - 由于头部的掩蔽效应，造成声音频谱的改变
    - 计算机生成了可选文字:
      000Hz
      2500Hz
      500Hz
      200Hz人耳对不同频率、来自不同方向的声音的感受能力不同（侧耳倾听~）
  + 掩蔽效应
    - 掩蔽是一个声音被另一个声音掩盖的现象
    - 掩蔽效应：一个声音的**听阈**因为另一个声音的掩蔽而提高
  + 听觉记忆
    - 对音频、声强、声场分布形成记忆从而能够快速辨识。脑内回放声音。
  + 音色分辨能力强，声场以及音色感知
    - 声场内方向、距离、定位、反射、衍射、扩散、指向性、质感等多种因素**综合**构成音色感知
  + 聚焦效应
    - 人可以把听觉注意从众多的声音**聚焦**到某一点上

人的其他感觉技能及其特征

* 肤觉：仅次于视觉、听觉，能感受到多种刺激
  + 触觉：压觉、触压觉，皮肤受力时产生的感觉
    - 特征
      * 触觉敏感性：不同部位有不同的敏感度
      * 触觉的定位能力
      * 两点阈限：能判断为两个接触点的最小距离
  + 温度感觉
    - 冷热感受器分别感受温度刺激
    - 热觉：热点
      * 热点在面部、口唇、眼睑部分较密集
      * 32℃-45℃之间，热点被激活
    - 冷觉：冷点
      * 冷感受器更多，是热点的5~11倍
      * 10℃-40℃之间，冷点被激活
* 本体感觉，在VR/AR中需要着重考虑，感受身体和四肢所在位置的信息
  + 平衡感：人对自己头部位置的变化以及身体平衡状态的感觉
    - 影响因素：
      * 酒精、年龄、心理状态（恐惧、紧迫）、突然的运动、热、不常有的姿势
  + 运动感觉：人对自己身体各个部位的位置以及运动状态的一种感觉
    - 人的各种操作技能的形成有赖于运动觉信息的反馈调节

人的运动机能

* 关节活动范围
* 人体各部分能发出的力量
* 人体各部位动作速度与频率限度
* 人体动作反应时间
  + 不同感觉器官反应时间不同
  + 受人主体因素影响
    - 习俗、个体差异（性别、年龄）、疲劳、生理状态、心理状态
  + 反应动作距离越大，反应时间越长

听觉交互

* 两方面
  + 计算机拥有声音输出
  + 计算机也要有听觉：声音输入
* 应用形式
  + 音乐平台、有声书、有声新闻
  + 音效辅助系统：立体声效、环绕立体声影院
  + 语音交互系统：语音控制、智能会话、语音翻译
* 辅助听觉能力增强交互
  + 理解人的听觉注意，消除听觉掩蔽（根据用户需求弱化听觉注意点以外的声音）
  + 声音只能识别，听声辨物
  + 声音记忆与快速检索
  + 痛阈自动判定与疲劳损伤提醒
* 辅助听力训练的交互
  + 音频识别、音高判定、视唱音准判定
  + 声音记忆训练
* 感知用户所处环境
  + 根据环境音判定用户当前状态
  + 自适应选择不同信道，或调整声音响度

肤觉交互

* 交互实例
  + 触屏
  + 手柄等手持设备
  + 腕表、手机震动
* 交互运用空间
  + 有压力和温度输出的服装

本体感觉

* 本体感觉与VR的矛盾
  + 在VR系统中，视觉听觉都是运动情况下的感知，但是人体耳蜗无法做相应的平衡，造成眩晕
  + AR系统没有本体感觉上的问题，但是更容易产生视觉疲劳
* 运动觉记忆
  + 例：回忆和冥想进行投篮训练，对真实的投篮有帮助

具身交互

* 人的输出并不是单通道的
  + 意识表达是通过多种输出通道共同来传达的

问题1：

怎样减少VR的眩晕感？

体质训练：某些体育运动可以增强对眩晕的抵抗力，或者经常体验VR也会减轻眩晕；

空间追踪：模拟正常人的行走运动，如HTC Vive的RoomScale，Omni这样的跑步机等，思路是用户在虚拟世界中做跟现实世界一样的动作，不过受限于设备、空间和玩法；

头戴显示器：降低延迟，降低余晖，提高刷新率和分辨率；

视角控制：除了用户自己的主动转头，尽量避免视角被动移动和旋转，如游戏中常见的跑步、掉落、倒地、跳跃等，如果不得不移动，应该让视野内不要出现太快的像素运动；

画面风格：过于写实的风格更容易引起眩晕，类似恐怖谷理论，人们更容易发现写实类画面中不正常的部分，如果与期望不符，就容易感觉不舒服。

问题2：

具身交互实例。

美国亚利桑那州立大学设计开发的Situated Multimedia Arts Learning Lab，简称SMALLab。

从技术层面来看，SMALLab是一个以实体教室为主，以计算机网络技术、物联网技术、红外线传感技术为辅的混合学习环境。它利用**物理跟踪器、感应摄像头、音频扬声器、视频投影仪**等设备，以人的身体作为学习的接口，通过多种形式的感官输入，与情境产生交互作用，营造逼真的临场感和沉浸感，并激发学习者的参与感和挑战欲，进而体验、建构和生成知识。SMALLab设置有**12个动力感应摄像头**，将学习者的位置、姿势和动作等身体信息全程记录下来，并传送给计算机。在实验室顶部设有**投影仪**，它会在前方的橡胶地板上投射出一片区域，投影仪的光线交织在一起形成相应的虚拟物，学习者可以在不接触物体本身的情况下，通过肢体动作与虚拟物进行互动，从而体验和探究与学习主题相关的知识和原理。除此之外，身处互动空间周围的其他学习者也可以看到学习场景中的媒体变化情形和人机互动结果，并与他人进行直接交流与实时协作。

从功能架构层面来看，SMALLab主要包括**场景建构、多通道感知、动态视觉、声音反馈**等模块。其中，视觉传感依靠安装在活动空间周围的**同步视频摄像机**来实现，主要用于跟踪物体的运动速度、幅度、位置等。音频传感依赖于排列在互动空间周围的**麦克风**来实现，它具有两个功能：一是实时记录学习者发出的声音，以供后续的交互性练习使用；二是通过声音分析模块驱动空间中的互动媒体，提取音频在音调、声波上的相关特征，以描述学习者身体运动与其声音之间的关系。声音反馈模块涉及的技术包括**扬声器、低音炮音箱**以及声音处理与播放软件等，其主要功能在于记录声音，以作为学习者自我反思的材料。视觉反馈主要是利用学习者收集和标注的静态与三维图像、视频片段等来实现，安装在环境顶部的**视频投影**可以在地板上呈现交互式的可视化内容。数据建档模块主要负责对所有数据进行即时存储、传感和反馈，这些数据将为学习的过程性评价提供依据。

总体来看，SMALLab是一个利用交互式数字媒体，在多通道传感框架上设计的混合现实学习环境，它具有**具身交互、多通道反馈、协作交流**等特征。SMALLab为我们在理解和分析具身型混合现实学习环境提供了如下三方面的有益启发：首先，SMALLab作为一个融合**视觉、听觉、触觉**等多种感官于一体的学习平台，其在视觉传感、音频传感、视觉反馈和声音反馈等模块上采用的技术设备和相关软件，可以帮助学习者获得多通道的感知与反馈信息，使学习者在不同感官通道上都能产生对应的刺激和体验。

*来自 <*[*http://jwc.fafu.edu.cn/85/6a/c6514a230762/page.htm*](http://jwc.fafu.edu.cn/85/6a/c6514a230762/page.htm)*>*