VR位姿传感

* 应用
  + 人体动作捕捉
  + 头部姿态捕捉
  + 手势动作捕捉
  + 力反馈
* 技术要求
  + 3D空间中的刚体运动具有3个平移参数和3个转动参数
    - 平移---沿x、y、z三个方向
    - 旋转---偏航、俯仰、滚动（欧拉变换）
  + 位姿传感器应该能在物体高速运动时，足够快地测量
  + 传感器在测量时不能妨碍物体运动
* 3D位姿传感器的共同参数
  + 采样率：每秒采样次数
  + 执行时间：在行为和测量结果之间的延迟
  + 传感精度：实际位置与测量位置之间的误差
  + 分辨率：传感检测的粒度，即能够检测到的最小位置变化
  + 工作空间
  + 障碍
  + 同时测量的对象数量
  + 校准难易
* 运动物体各个部位之间的相对运动也应该被测量

数据手套位姿传感技术实例

* 基于传感数据手套的交互
  + 手是人与外界环境进行物理接触以及意识表达的主要媒介
  + 传统交互设备牺牲了大多数手的自然运动信息，妨碍了人对系统控制意识表达的全面性和灵活性
  + 数据手套可跟踪用户手势和空间方位，成为新一代重要的HCI接口
* 数据手套技术实现
  + 人的手指运动
    - 弯曲-伸直
    - 外展-内敛
    - 前位-复位
  + 人的手腕运动
    - 摆手
    - 招手
    - 平切
* 工作原理
  + 用传感器测量全部或部分手指关节的角度
  + 某些传感手套还用3D传感器跟踪用户手腕运动
  + 传感手套的工作区大于跟踪球和手柄的工作区
* 代表产品
  + VPL公司Data Glove
  + Exos的Dextrous Hand Master
  + Vertex的CyberGlove
  + Mattke的PowerGlove
  + 索尼和任天堂的PowerGlove
* DHM灵巧手-机械测角
  + 戴在用户手上的金属外骨骼结构
  + 工作原理
    - 每个手指上4个机械测角传感器
    - 测量关节角
  + 特点
    - 高传感速率、高传感分辨率
    - 结构设计精细
    - 高成本
* VPL的Data Glove
  + 工作原理
    - 手指的每一个被测关节上都有一个光纤维环
    - 纤维通过塑料附件安装，使之在手指弯曲时动作很小的移动
    - 手指弯曲时，光纤壁改变其折射率，于是手指弯曲处的光线漏出，根据返回光线的强度间接测量出关节角
    - 光纤传感器轻便、紧凑
  + 校准
    - 把原始的传感器读数变成手指关节角的过程
    - 每次戴上手套时都要重新做校准
* Vertex的CyberGlove-应变片测角
  + 工作原理
    - 每个关节的弯曲角由一组应变片的阻值变化间接测量
    - 手指运动时，一个应变片受压，另一个受拉，它们之间的电阻变化造成了电桥上电压的变化
    - 手套上的每个传感器都有一个电桥电路
    - 差分电压由模拟多路扫描器MUX进行多路传输，信号放大后由A/D转换成数字信号
    - 数字化电压被计算机采样，通过校准得到关节角
  + 结构
    - 手套传感器或者是矩形的（弯曲角），或者是U形的（外展-内收角）
    - 有16至24个弯曲传感器，1个外展-内收角传感器，再加上拇指以及小指的转动以及手腕的偏转和俯仰
    - 传感器的分辨率是0.5度，并在整个关节运动范围内保持不变
    - 手套使用解耦的传感器，使彼此的输出无关
* Mattke的PowerGlove-导点墨水传感
  + 工作原理
    - 价格便宜
    - 手腕位置的传感器是超声传感器
    - 弯曲传感器是导点墨水传感器
    - 传感器包括在支持结构上的两层导点墨水
    - 墨水在粘合剂中有炭粒子，当底座弯曲时，在弯曲的外侧墨水延申，造成导点炭粒子间距离增加，传感器的电阻增大
    - 当墨水压缩时，电阻减小
    - 阻止数据通过简单的校准转换成关节角数据
* 索尼和任天堂的PowerGlove专利
  + 索尼数据手套专利
    - 混合使用惯性传感、电磁传感、计算机视觉传感
  + 任天堂PowerGlove
    - 1989年超声波定位实现交互
    - 2016年被改装成VR手势交互设备

位姿传感器分类

* 分类
  + 机械式
  + 电磁
  + 超声
  + 惯性以及混合传感器
  + 光学
* 性能对比
  + 计算机生成了可选文字:
    发射源便携
    差
    好
    精度
    很高
    较高
    价格
    较高
    较低
    很低
    昂贵
    昂贵
    刷新率
    较高
    时间法低
    相位法高
    很高
    延迟
    范围
    单传感器小
    十扰源
    无
    机械式
    电磁式
    超声式
    光学式
    惯性式
    无
    有
    有
    有
    无
    较大
    金属及磁场
    多传感器大
    时间法
    低
    较好相位法
    较好
    好
    较高
    较低
    小
    小
    较小
    大
    大
    空气流动
    超声噪声
    光反射
    红外光源
    随时间和温
    度漂移

机械式传感器

* 测角器
  + 关节角测量
  + 得到端点位置
  + 由于测角器是安装在运动物体外部，其转动中心与运动关节的转动中心不一致，测角器与运动物体之间存在滑动
  + 对于多自由度关节很难校准
* 安装在地面的机械铰链
  + 要求用户牢固地抓住操作器，或者头盔束缚在头上
  + 没有关节角配准问题
  + 用户工作空间受限
  + 可测量自由度只有6个，对于同时测量多个臂或冗余链接会有问题。如多手指运动通常不用机械链接测量
* 优缺点
  + 可测量整个身体的运动，没有延迟
  + 价格低
  + 比较精确
  + 可同时实现力反馈
  + 妨碍身体运动

电磁传感器

* 电磁位姿传感器
  + 测量头、手、其他设备的位姿，测量三个坐标和三个姿态角度
  + 基本组件
    - 发射器、接收器、接口、计算机
* 工作原理
  + 测量y方向上的距离
    - 通电流的主动线圈发出在y方向的电磁波
    - 被动线圈中的感应电流正比于主动线圈和被动线圈的距离
    - 由此得到主被动线圈在y方向的距离
    - 被动线圈中的感应电流还取决于主动线圈与被动线圈的交角，主被动线圈方向差增大，被动线圈中的感应电流减少
  + 测量6个位姿参数的电磁传感器
    - 发射器中有3个正交的线圈
    - 接收器也有3个正交的线圈
    - 改变主动线圈中的电流强度或定时选通（3个线圈轮流通电），可使3个线圈的磁场相互隔离
    - 每个主动线圈产生3个感应电流，3个主动电流产生9个感应电流
    - 由9个感应电流算出位姿参数
* 优缺点
  + 没有遮挡问题
  + 价格低
  + 精度适中、采样率高
  + 工作范围大（达60平方米）
  + 精度下降的情况
    - 电子设备和铁磁材料
    - 直流电场可以补偿，但交流电磁场难以补偿
    - 测量距离增大会导致误差增大
  + 延迟
    - 20-30ms
    - 实时交互中应用较少
* 电磁传感器
  + Polhemus公司
  + Ascension公司

超声传感器

* 功能
  + 测头、手或其他设备的位姿
  + 测量3个坐标和3个姿态角
* 基本组件
  + 3个超声发射器阵列
  + 三个超声接收器（在被测物上）
  + 用于启动发射的红外同步信号
  + 计算机
* 测量原理
  + 超声传播时间
    - 各个发射器轮流发出高频超声波，测量到达各个接收点的飞行时间
    - 测量6自由度，需要3个接收器和3个发射器
    - 利用声音速度得到发射点和接受点间的距离，运算得到位姿
    - 精确测量需要用红外同步信号
    - 发射器一般安装在天花板四角
  + 超声相位差
    - 声波是正弦波，发射器与接收器的声波之间存在相位差，与距离相关
    - 各个发射器发出高频的超声波，测量到达各个接收点的相位差，得到点于点的距离，计算得到位姿
    - 此方法为增量测量法，测量误差会随时间积累，因此需要进行校准
* 优缺点
  + 不受磁场和临近物体的干扰
  + 轻便的接收器易于安装在头盔上
  + 工作范围有限
  + 受温度、气压、湿度影响
  + 受环境反射声波的影响
  + 飞行时间法采样率和分辨率低，相位差法会积累误差

惯性传感器

* 原理
  + 加速度计和角速度计
* 优缺点
  + 没有信号发射，轻便，可安装在被测物体上
  + 不怕遮挡、没有外界干扰、不受工作空间限制
  + 物体运动不受约束
  + 延迟小
  + 有积分误差
  + 漂移量会随时间积累
  + 重力场使输出失真
  + 角速度计对震动敏感
  + 难以测量慢速的位置变化

光学传感器

* 工作原理
  + 基于高对比度的视频图像，在图像中进行标记，反应被测物体的运动
  + 标记通常是红外发光标记，用LED增加对比度
  + 标记数量有不同取决于运动类型和要求的跟踪质量，通常由20-30个
  + 标记尺寸为1-5cm
* 优缺点
  + 工作空间可以很大
  + 被测物体运动不受妨碍
  + 采样率足够快，120-250Hz
  + 价格昂贵
  + 对光敏感
  + 对反射敏感
  + 标记阻挡（每个标记至少要被2个摄像机看到）
  + 非实时测量
  + 对校准敏感