VR坐标系和相机坐标系之间的变换

1. VR环境中怎样碰触抓握一个虚拟物体

VR环境中存在以下三个坐标系：VR全局坐标系(VR coordinate)、头盔坐标系(Headset coordinate)和手柄坐标系(Hand coordinate)。假设需要用手去抓取一个虚拟物体(Object)。

虚拟物体在全局坐标系中的位置姿态已知，记作。头盔在全局坐标系中的位置姿态为。则物体相对头盔坐标系的位置姿态可以计算出来，记作。根据，在VR中绘制物体图像，从而使使用者产生立体视觉。

使用者通过立体视觉判断虚拟物体在其身体坐标系(Body coordinate)中的位置姿态，然后移动手去抓握。VR手柄获得使用者手部相对于全局坐标系的坐标，当与相等时，判断使用者抓握到虚拟物体。



1. 双目相机与机器人



1. 在VR中虚拟抓取双目相机所拍摄物体

双目相机固定安装在台架上，朝向目标物体(Object)拍摄。双目相机图像传输至VR眼镜，使观察者形成三维立体视觉。观察者通过手柄虚拟碰触目标，算法检测判断手柄是否与目标碰触。

假设双目相机在VR坐标系中的位置姿态已知(在后面小节中讨论如何确定该位姿)。目标在双目相机坐标系中的坐标为，则在VR坐标系中的位置为。观察者移动手柄去碰触目标，当与相等时，判断使用者碰触到目标。



1. 双目相机在VR坐标系中的位姿

双目相机与VR是两个独立系统，相互之间并没有实质性关联，因此需要人工建立起双方的关联关系。

首先假定VR眼镜的坐标方向定义与双目相机一致，即X轴由左眼指向右眼，Z轴指向深度方向。假定双目相机的Z轴并未完全与重力矢量重合，定义双目相机Z轴与重力矢量所形成的平面为其铅锤面。以同样方式定义VR眼镜的铅锤面。假定VR全局坐标系中，Z轴方向垂直大地向上。

观察者站立或坐下，调整好其姿态后，执行双目相机初始定位步骤。在该步骤中，首先将双目相机在VR全局坐标系中的位置，定义为VR眼镜当前在VR全局坐标系中的位置。之后，令双目相机的铅锤面，与VR眼镜的铅锤面一致。假设VR眼镜当前的姿态角为，计算确定双目相机的姿态角。

双目相机中安装有IMU，能够检测出重力加速度在每个轴上的分量。假设重力在VR全局坐标系中的向量为(已经归一化为单位向量)。双目相机在VR全局坐标系中的姿态由以下步骤确定：

1. VR眼镜在VR全局坐标系中的姿态角已知，其旋转矩阵定义为。
2. 双目相机与VR眼镜铅锤面相同，因此VR眼镜以铅锤面法向量旋转角后，二者的z轴重合。VR眼镜的轴与重力的夹角为，双目相机的轴与重力的夹角为，因此。定义该旋转矩阵为。
3. VR眼镜围绕()轴旋转角，使其X、Y轴与双目相机重合。围绕()轴旋转形成一个平面，其法向量为，因此记作。重力在该平面上的投影长度为。重力在轴的分量为，在轴的分量为，因此可以得到

定义该旋转矩阵为。

1. 双目相机在VR坐标系中的旋转矩阵为。



1. Headset位置变化对于观察者立体视觉的影响

在以上模型中，双目相机在VR坐标系中的位姿由初始定位时headset的位姿确定，之后在VR坐标系中保持不变。当观察者头部发生位置变化时，对目标物体的三维定位感知是否会发生影响？

首先考察双目相机中，当目标点与相机的垂直距离(Z)发生变化时，像点相应发生变化。以左相机为例，假设目标在左相机坐标系中的坐标为，像点在相平面方向像素位置为

目标点沿Z轴移动了距离，则像点在相平面方向像素位置为



双目相机的图像投射到VR眼镜中。Unity中，使用左右两个虚拟相机对着左右两个画布拍摄，分别投射到VR的左右眼中。假设虚拟相机距离幕布，其视野宽度为，将幕布完全包含。在这个位置，人眼看到的图像与相机一致，目标在左眼图像的位置为，从而使观察者感知物体距离人眼的三维距离为。

假设观察者沿深度方向移动头部，移动距离为。虚拟相机的视场角不变，因此相机的视野范围变为

目标像点在视野中的相对位置变为

为了便于区分，将将双目相机中的像点标记为，VR中的像点标记为。显然，一般情况下，会导致当观察者的headset偏离初始位置时，对目标的三维立体感知出现偏差。

在哪种情况下，headset偏离初始位置不会对三维立体感知造成显著偏差？计算下式：

可以看出，当时，对像点的影响最小。因此，可以通过以下方式减小headset运动造成的三维立体感知偏差：

1. 对于平面或接近与平面进行操作，且相机Z轴接近垂直于该平面；
2. 对于一个物体进行操作，物体基本处于左右相机的中间位置。

双目相机测量出与被操作物体的距离，然后设置VR虚拟相机与幕布之间的距离(同时改变相机视场角)，从而减少头部运动对于三维感知造成的影响。

1. 通过VR操控机器人跟随手柄运动

在VR环境中，观察者移动手柄。手柄在VR全局坐标系中的坐标为，在双目相机坐标系中的坐标为。双目相机在机器人坐标系中的坐标为，则手柄在机器人坐标系中的坐标为。控制机器人末端，实现手柄对机器人的位置控制。

手柄的姿态？



1. 虚拟碰触抓握深度相机视野中的真实物体

深度相机与机器人构成了一个独立系统，其中包含3个坐标系：机器人坐标系(Robot coordinate)、机器人末端(工具)坐标系(Tool coordinate)和相机坐标系(Camera coordinate)。

双目相机观察到真实目标，并测算出目标在相机坐标系中的坐标。通过机器人手眼标定(眼在手外)，可以获得相机坐标系与机器人坐标系之间的变换关系，从而计算出目标在机器人坐标系中的坐标。

目标及周围环境的图像由双目相机拍摄后，传输到VR眼镜中显示。观察者通过VR看到图像，并建立起立体视觉。在Unity中，图像投射到左右两张幕布上，左右相机对着幕布拍摄图像并传输到VR眼镜中。幕布长宽比应当和相机图像长宽比一致，虚拟相机应当能够将幕布图像完整投射到VR眼镜中，从而使观察者建立准确的立体感。

观察者4

