深度相机条件下的机器人手眼标定

1. 标定基本原理

使用深度相机作为机器人眼时，能够获得目标在相机三维直角坐标系下的坐标信息。由于相机的坐标原点和姿态方向与机器人坐标系不同，因此需要将相机坐标系下的目标坐标转换到机器人坐标系下。



由于相机坐标系也是一个直角坐标系，因此坐标转换由平移和旋转实现。这一过程可以参照机器人的机械臂运动加以理解：

1) 假设初始时，相机坐标系与机器人坐标系完全重合，目标点在相机坐标系中的坐标已知；

2) 相机坐标系经过平移(用偏移量描述)和旋转(用欧拉角描述)后到达当前位姿，在这一过程中目标跟随相机运动；

3) 目标在机器人坐标系中的坐标，可以通过下式计算：

其中是相机坐标系相对机器人坐标系的旋转矩阵，由欧拉角决定。

需要注意的是，机器人坐标系的定义与我们习惯的飞机机体坐标系不同。机器人坐标系如下图所示



偏航角()以Z轴为旋转轴，俯仰角()以Y轴为旋转轴，滚转角()以X轴为旋转轴。因此，旋转矩阵定义为

手眼标定的目的，是计算出这6个参数。假设存在个目标点，每个目标点在相机坐标系中的坐标和在机器人坐标系中的坐标均已知，则可以通过非线性拟合获得以上参数。下述的重点，是怎样获得这些标定采样信息。

2. 眼在手外

该模式下，相机固定安装在机器人之外，不与机器人随动。在具体操作中，相机通常悬挂在机器人上方。让机器人手部夹持一个标记物，调整手部姿态使该标记物能够被相机观察到。控制手部随意运动到多个不同位置，在每个位置同时检测标记物的相机坐标和机器人坐标，从而获得标定所需样本。



2. 眼在手上

此时，相机固定安装在机器人末端，与机器人末端随动，因此机器人采用工具坐标系(TCP)。在空间放置1个标记点。机器人停在某个位置，记录该位置在机器人基座坐标系下的坐标为，在相机坐标系中的坐标为。手动控制机器人运动到该位置，记录基座坐标系下的坐标。在这一过程中，机器人的相对运动量为，因此标定样本为。将标记点任意移动到其他位置，重复以上操作次，即获得一组标定样本。

