实验 2 基于末端力矩传感器的导纳控制仿真实验

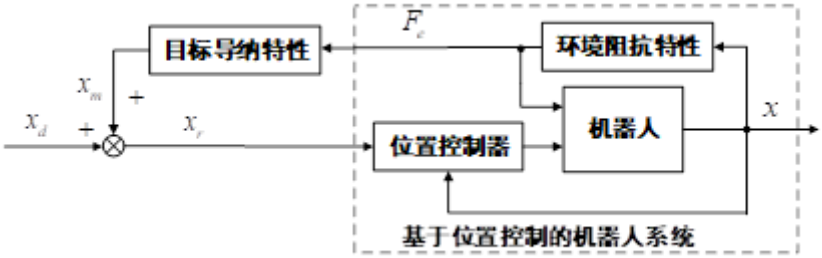
实验目的：

1、学习基于末端力矩传感器的阻抗控制方法。

实验原理：

机器人的导纳控制的基本思想是：控制系统采用基于位置控制的内环和力控控制的外环策略。检测系统（力矩传感器）与外界的接触力F_e,通过一个二阶导纳模型，生成一个附加的位置，此附加位置再去修正预先设定的位置轨迹，最终送入位置控制内环，完成最终的位置控制。

控制系统控制原理图如下：



这种控制方式可以使得系统表现出$Ms^2 + Bs + K$的阻抗特性，该控制方式不需要机器人的动力学模型。这种方式特别适合于位置控制效果好的伺服控制系统。导纳控制计算的结果是关节期望位置，对应传统的工业机器人来说是很容易实现的。所以目前力控制中的应用是以导纳控制为主的。

机器人导纳控制利用安装在机器人末端的力矩传感器采集末端作用力F_e',对应的基坐标系下的描述为F_e，并使之满足如下关系

$$M\ddot{x}_m + B\dot{x}_e + Kx_e = F_e$$

其中：F_e为力矩传感器采集末端作用力F_e'在基坐标系下的描述；

$$F_e = \begin{bmatrix} R_T^B & 0 \\ 0 & R_T^B \end{bmatrix} F_e'$$

$\ddot{x}_m$为由末端作用力产生的机器人末端修正加速度；$x_e = x - x_d$，x 为机器人当前末端位置，x_d为期望的机器人位置，x_e为两者之间的偏差，$\dot{x}_e$，$\ddot{x}_e$为机器人速度和加速度偏差。M，B，K是对角矩阵，用于调节阻抗控制特性。进一步可求得机器人修正加速度$\ddot{x}_m$为

$$\ddot{x}_m = M^{-1}(F_e - B\dot{x}_e - Kx_e)$$

再积分可获取修正的位置及速度。为了计算修改加速度，需要利用当前的末端位置x和速度$\dot{x}$，位置x可以利用机器人的正运动学求解，而速度$\dot{x}$可以利用如下表达式求解

$$\dot{x} = J\dot{q}$$

上述控制率使控制系统等效为一个弹簧阻尼系统。为了确保系统响应的平滑和稳定，需要对传感器采集的作用力进行低通滤波。

$x_e = x - x_d = [\Delta v, \Delta\omega]$为位置及姿态的偏差，对于位置而言直接相减即可求得$\Delta v$，而对于姿态则需要利用下述公式求解进行叠加运算：

$$R_e = RR_d^T$$

其中 x 对于的姿态矩阵为R，x_d对于的姿态矩阵为R_d，利用R_e的经过姿态矩阵到等效转轴的

转换，可求得$\Delta\omega$。

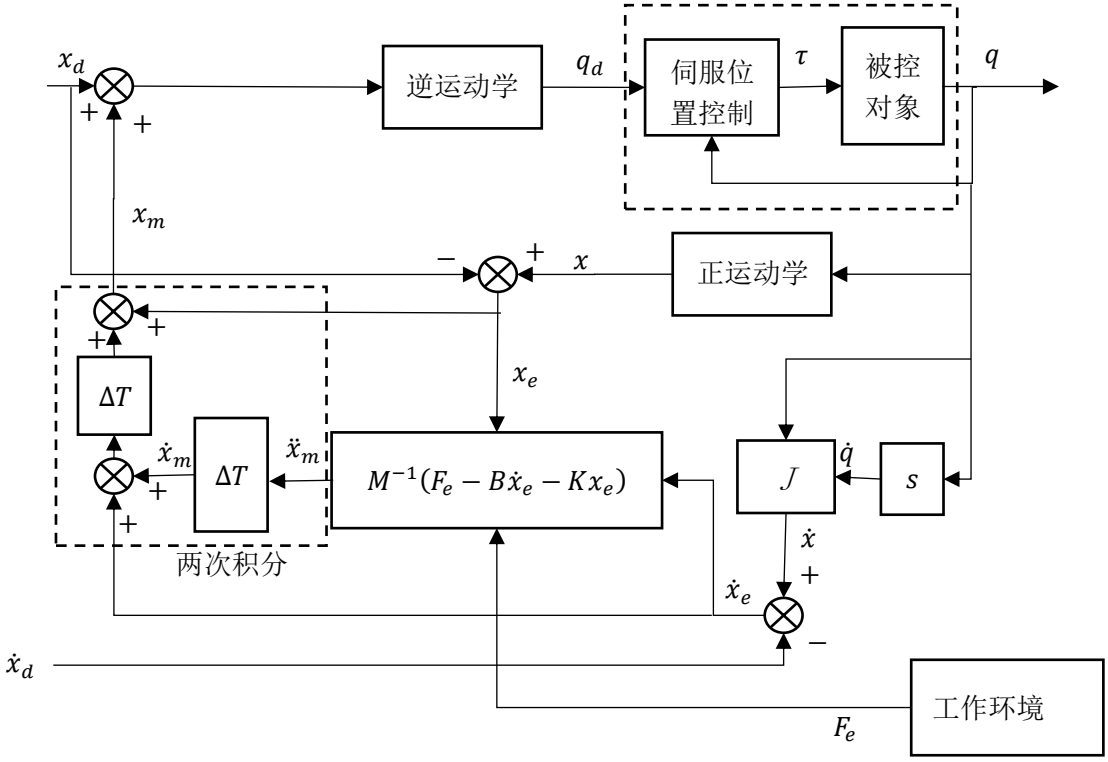
同理，求解$x_d + x_m$时，位置直接相加即可，姿态可按照如下表达式进行叠加运算计算：

$$R = R_m R_d$$

其中R为计算得到的期望姿态矩阵，R_d为x_d对应机器人姿态矩阵，R_m为x_m描述的姿态矩阵。

实验步骤：

1、绘制详细的闭环控制系统结构框图



2、按照结构框图在 MATLAB Simulink 中搭建机器人闭环控制系统，Robot 为仿真被控对象模型，可选择（库中已有的 UR5 机器人或 PUMA560 模型），对象输入为各关节力矩（Nm），输出为关节角度（rad）。细化导纳控制器，仿真系统为离线系统，控制周期为 0.001s。

3、调整阻抗参数M，B，K，保证控制系统的动态性能和稳态性能。恒定期望关节位置输入取为[1 0.6 0 0 1 0]。改变阻抗参数，画出机器人在笛卡儿坐标系中的运动曲线。

M	B	K	施加作用力
			[10 0 0 0 0 0]
			[0 0 0 1 0 0]
			[10 0 0 0 0 0]
			[0 0 0 1 0 0]

实验要求：

提交实验报告时，请附上 matlab 程序。