

2021-2022 第二学期《机器人学》期末大作业

一、大作业内容：

图 1 所示为 XYZ （坐标轴符合右手规则， Z 轴垂直向上， XY 平面为水平面）三维空间中的一个平面 2R 机器人，以及机器人广义坐标和关节力矩的定义。机器人 2 个连杆的质量均匀分布，长度均为 1m，质量均为 5kg，末端执行器坐标系定义如下图所示。

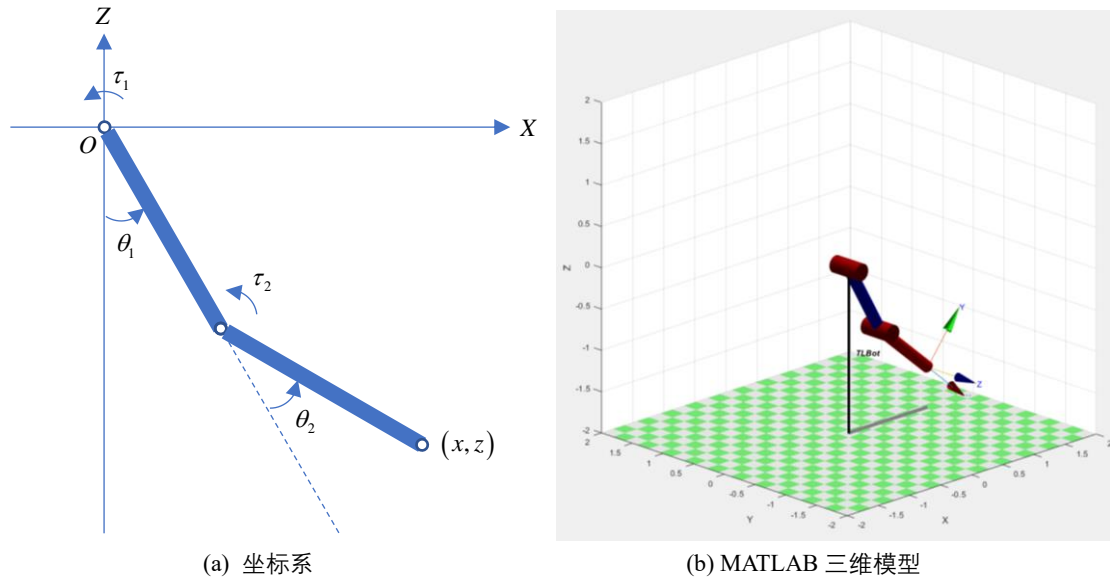


图 1：平面 2R 机器人操作手

以上述机器人为对象，完成如下任务：

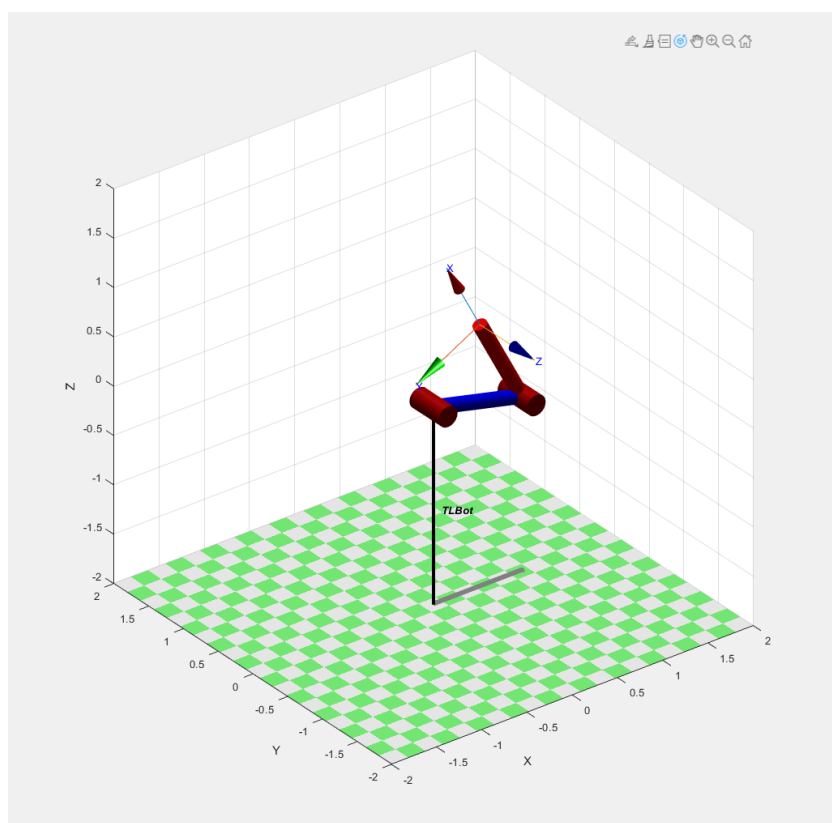
1. 计算机器人连杆绕其质心的转动惯量。
2. 写出机器人的改进型 D-H 参数表，并根据 D-H 参数表计算连杆间齐次变换矩阵 0T_1 、 1T_2 ；用 D-H 方法和 PoE 指数积方法分别计算机器人的运动学方程，并把结果进行对比。
3. 计算三维空间基坐标系中该机器人的速度雅可比矩阵（末端执行器坐标系如图 1(b)所示）。
4. 以图示 θ_1 和 θ_2 为广义坐标， τ_1 和 τ_2 为关节驱动力矩，用 Lagrange 方法求机器人的封闭动力学方程，给出推导过程，并验证惯性矩阵和机器人动能的关系。
5. 利用 MATLAB Simulink 和 Peter Corke 教授的机器人工具箱对上述平面 2R 机器人进行建模和仿真（程序需兼容 MATLAB R2020a），完成如下任务：

- 1) 设机器人关节空间初始状态为 $\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 30^\circ \\ 0^\circ \end{bmatrix}$ ， $\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ ，关节力矩为 $\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ ，利

用 Simulink 进行时长 5s 的运动学仿真，并解决如下问题：

- ① 画出机器人的关节角度、角速度、角加速度轨迹

- ② 画出末端执行器的笛卡尔坐标轨迹
 - ③ 计算仿真时间 $t=3.2s$ 时的雅可比矩阵，并和问题 3 的理论计算结果进行对比。
- 2) 设机器人初始状态为 $\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100^\circ \\ 90^\circ \end{bmatrix}$ ，末端执行器在笛卡尔空间的线速度指令为（常数） $\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.15 \\ -0.25 \end{bmatrix} \text{m/s}$ 。用计算力矩控制规则实现机器人末端执行器的线速度指令运动，并利用 Simulink 进行时长 10s 的动力学仿真，并解决如下问题：
- ① 画出计算力矩控制规则框图，并进行解释说明
 - ② 画出机器人的关节力矩、角度、角速度、角加速度轨迹
 - ③ 画出末端执行器笛卡尔坐标轨迹
 - ④ 利用雅可比矩阵计算并画出末端执行器的笛卡尔坐标速度轨迹
 - ⑤ 画出 XZ 平面（即只考虑 XZ 平面内的速度雅可比矩阵）内 Yoshikawa 可操作度度量值的轨迹（ $w = \sqrt{\det[J(q)J^T(q)]} = \sigma_1 \sigma_2 \cdots \sigma_m$ ），分析 w 和机器人位形的关系，再把仿真时间延长到 12s，分析 w 和机器人位形的关系。
 - ⑥ 利用 Simulink 仿真机器人运动过程的动画，并用录屏软件（推荐 EVCapture (EV 录屏)）录下动画



二、大作业提交方式：

大作业提交内容：

- ① 报告：PDF 格式，回答上述 5 个问题（含问题 5 的图）

② MATLAB 程序：第 5 个问题的配套程序，程序需兼容 MATLAB R020a

③ 计算力矩动力学仿真动画

大作业文件格式：把 PDF 报告、MATLAB 程序、动画打包成 ZIP 压缩文件

大作业文件命名：学号_姓名_机器人学期末大作业.zip

大作业文件例子：1950000_张三_机器人学期末大作业.zip

大作业提交方法：Canvas 系统

大作业提交期限：布置之后 2 周