

实验十七：

(创新模块) 二级倒立摆LQR控制实验

实验目的：

1. 理解LQR控制器设计原理；
2. 设计二级倒立摆系统LQR控制器。

实验任务/要求：

1. 基于LQR方法，设计控制器 $u=-Kx(t)$ ，使得二级倒立摆系统保持平衡；
2. 观察Q、R矩阵的改变对控制效果的影响

实验仪器、设备及材料：

二级倒立摆本体、倒立摆电控箱、PC机
(Matlab平台、运动控制卡)

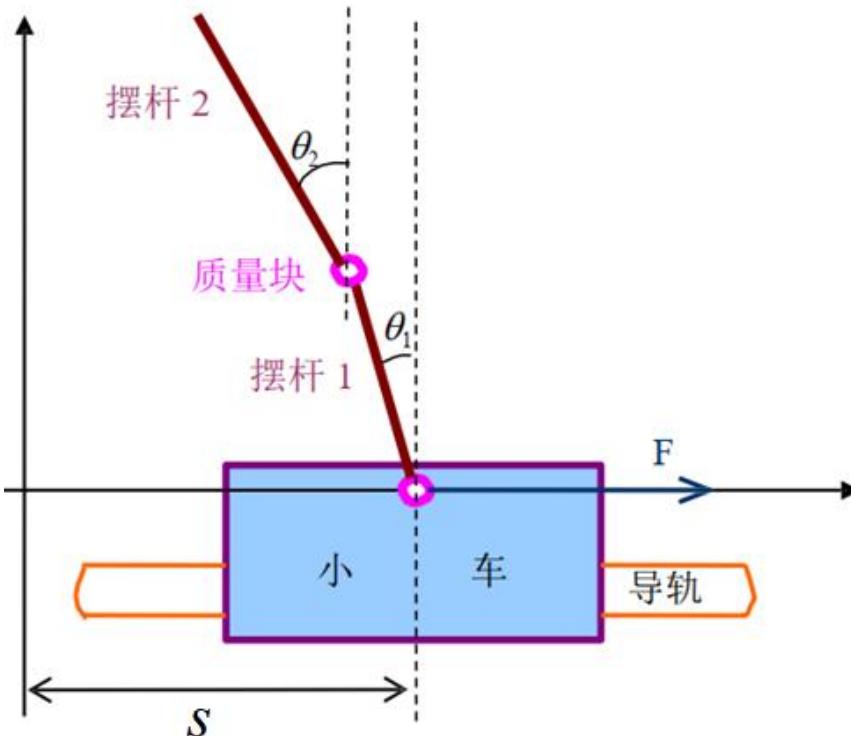
安全事项

进行实验时，倒立摆摆杆左右不能站立人，否则容易出现危险。



实验原理:

系统状态变量: $\{s, \theta_1, \theta_2, s', \theta'_1, \theta'_2\}$,



$$\dot{x} = \begin{bmatrix} s' \\ \theta'_1 \\ \theta'_2 \\ s'' \\ \theta''_1 \\ \theta''_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 86.69 & -21.62 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -40.31 & 39.45 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ s' \\ \theta'_1 \\ \theta'_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -0.088 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} s \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ s' \\ \theta'_1 \\ \theta'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ s' \\ \theta'_1 \\ \theta'_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

LQR控制器设计：

1) 给定Q、R矩阵，利用Riccati方程：

$$PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q = 0$$

求解出矩阵P。

2) 利用 $K = R^{-1}B^T P$ 求出反馈增益K，从而

得到控制器：

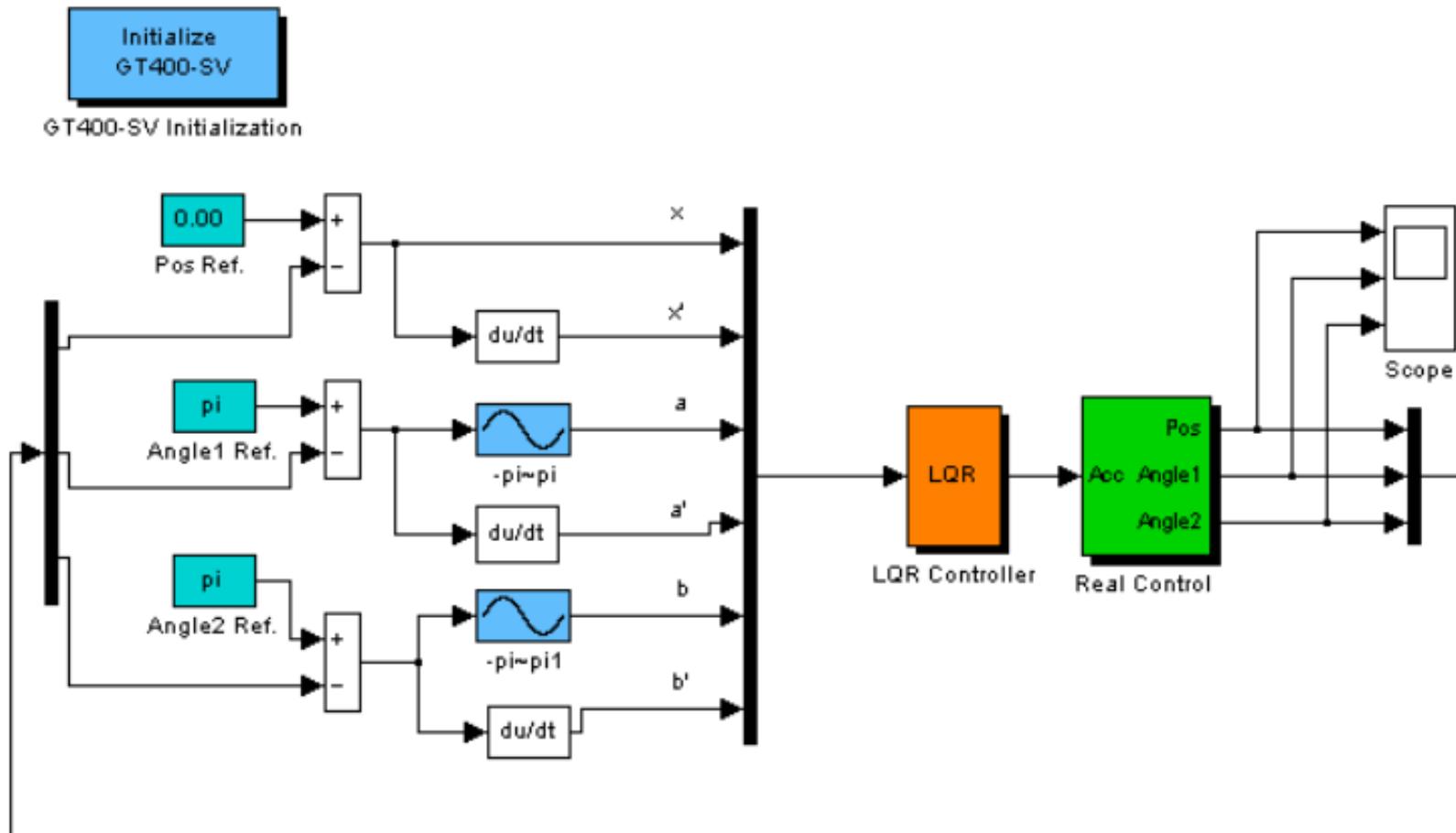
$$u(t) = -Kx(t)$$

实验步骤：

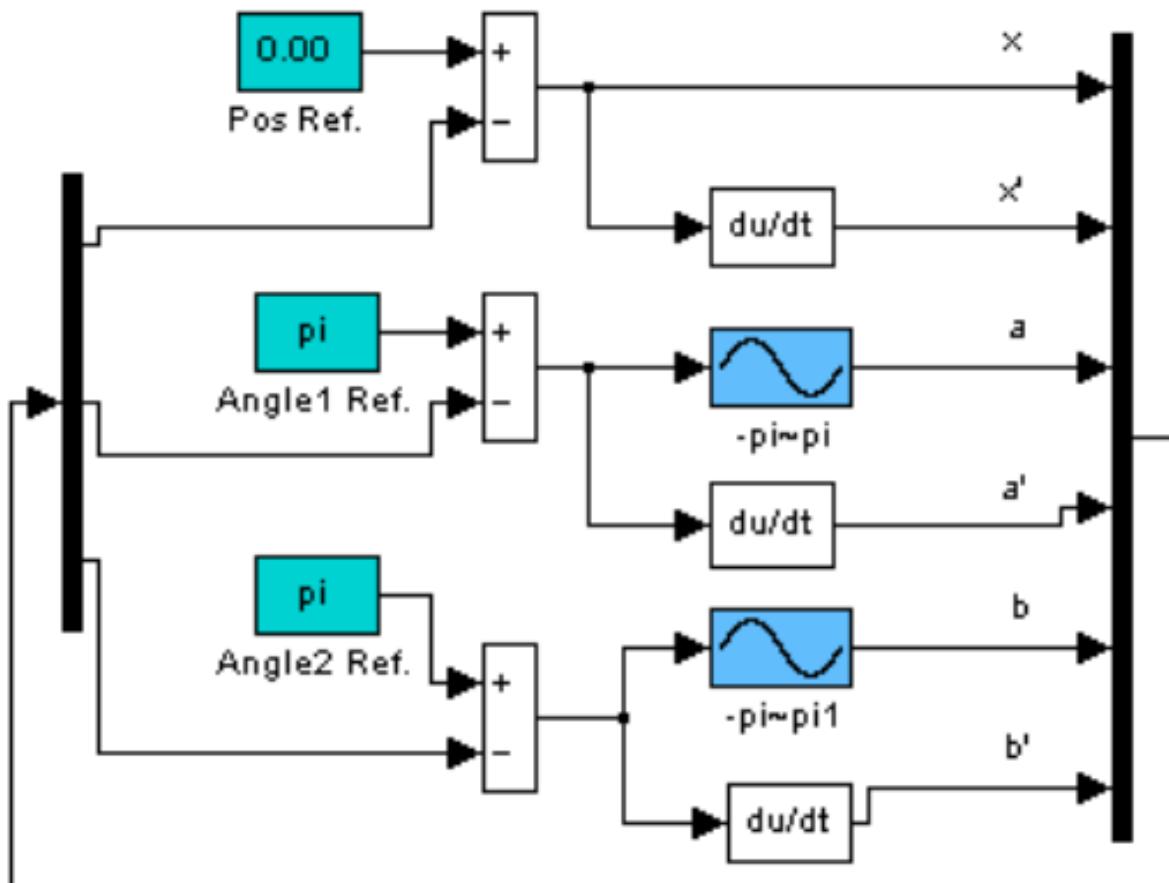
1. 进入 MATLAB，输入 gtbox, 打开 “Inverted Pendulum/Servo Motor Driven/GLIP/GTS/Two Stage/1-LQR Control/Real Time Control



Googol Linear 2-Stage Inverted Pendulum LQR Control Demo



左边部分为小车位置，摆杆 1 的角度和摆杆 2 的角度处理模块：



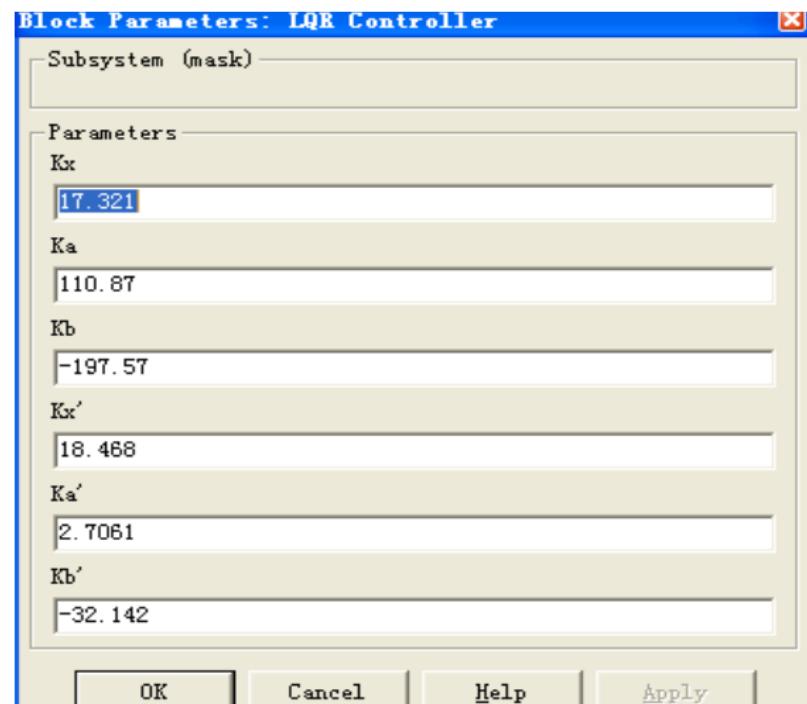
由上至下依次为小车位置、
小车速度、摆杆 1 的角度、
摆杆 1 的角速度、摆杆 2
的角度和摆杆 2 的角速度。

2. “LQR Controller”为 LQR 控制器，双击模块，把 LQR 控制器中的参数修改为仿真时所得到的控制参数。

注1：LQR仿真实验时，设计的控制器 $K =$

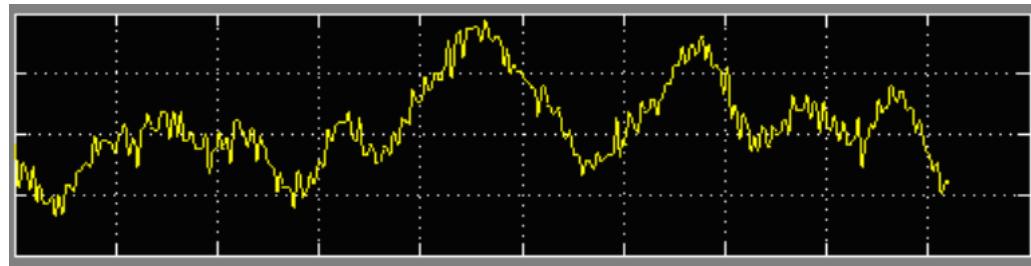
17.3205 , 112.3115,
-200.7915 , 18.2426 2.7711, -32.6419

注2：设置参数时，请注意参数的顺序。

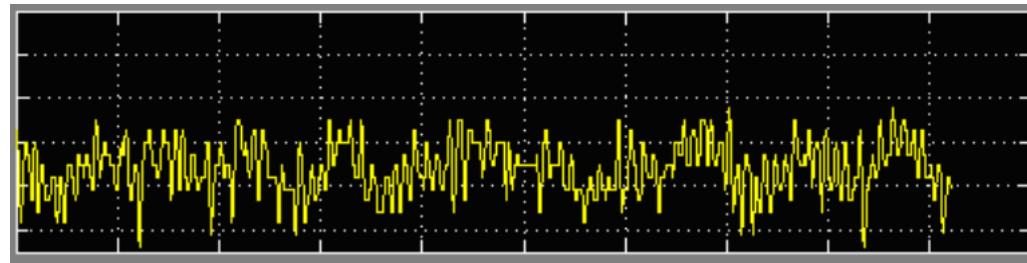


设置LQR控制器参数的一个例子

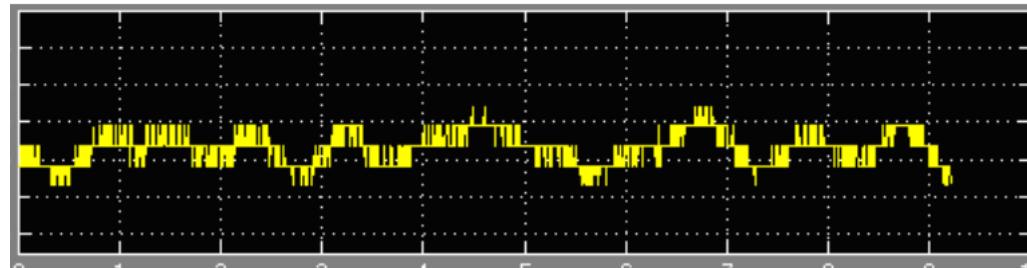
3. 点击“▶”运行程序，在电机上伺服后，缓慢提起摆杆到平衡位置，在程序进入自动控制后松开手，得到实验结果：



小车位置



摆杆1角度



摆杆2角度

4. 基于实验17，改变Q、R矩阵后得到的K（至少3组实验数据），代入到步骤2中的LQR控制器中进行实验，观察控制效果的变化。

实验报告要求：

- 1) 实验目的
- 2) 实验任务/要求
- 3) 实验仪器、设备及材料
- 4) 实验原理
- 5) 实验步骤
- 6) 实验结果及心得