



中山大學

SUN YAT-SEN UNIVERSITY

# 自动控制原理第十七次实验报告

## 第六组

姓名 郭皓玮、陈泓逸、常毅成、欧凯勋

学号 22354035、22354011、22354010、22354095

学院 智能工程学院

专业 智能科学与技术

2024 年 12 月 25 日

## 目录

|              |   |
|--------------|---|
| 1 实验目的       | 1 |
| 2 实验任务/要求    | 1 |
| 3 实验仪器、设备及材料 | 1 |
| 4 实验原理       | 1 |
| 5 实验步骤       | 2 |
| 6 实验总结与思考    | 5 |

# 1 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。

# 2 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。

# 3 实验仪器、设备及材料

- 二级倒立摆本体
- 倒立摆电控箱
- Matlab 平台
- 运动控制卡

# 4 实验原理

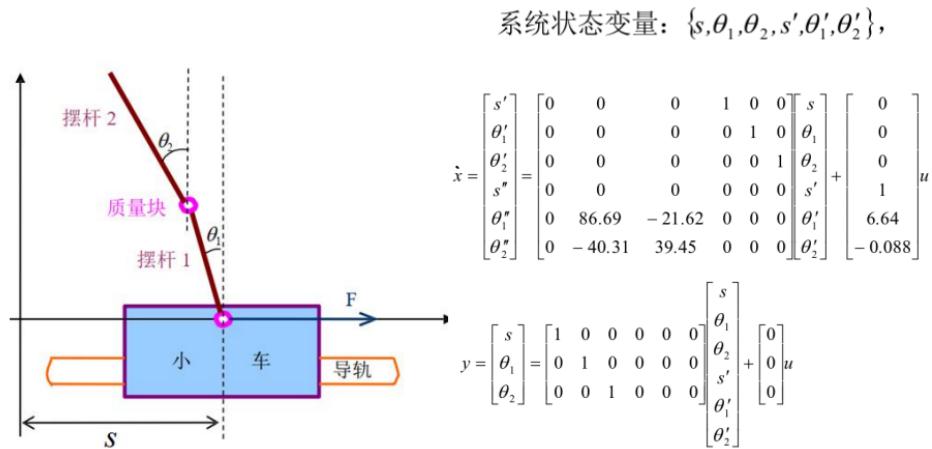


图 1: 实验原理

## LQR控制器设计：

**1) 给定Q、R矩阵，利用Riccatti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：**

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

图 2: 实验原理公式

## 5 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
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。
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：
4. 基于实验 16，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。

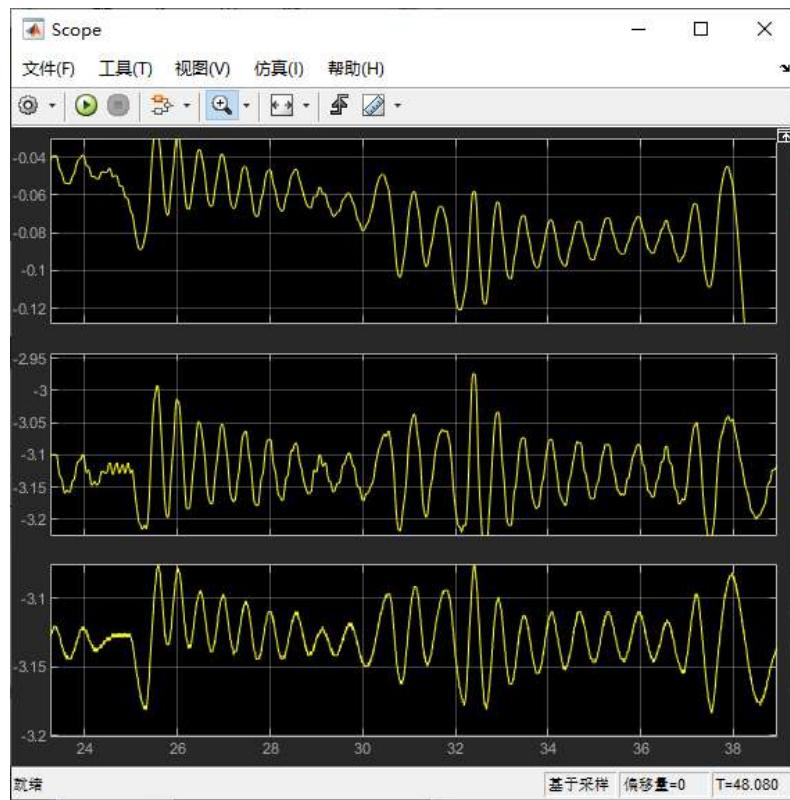


图 3: 1.0 75.4616 -85.9975 2.0092 4.3284 -13.3641

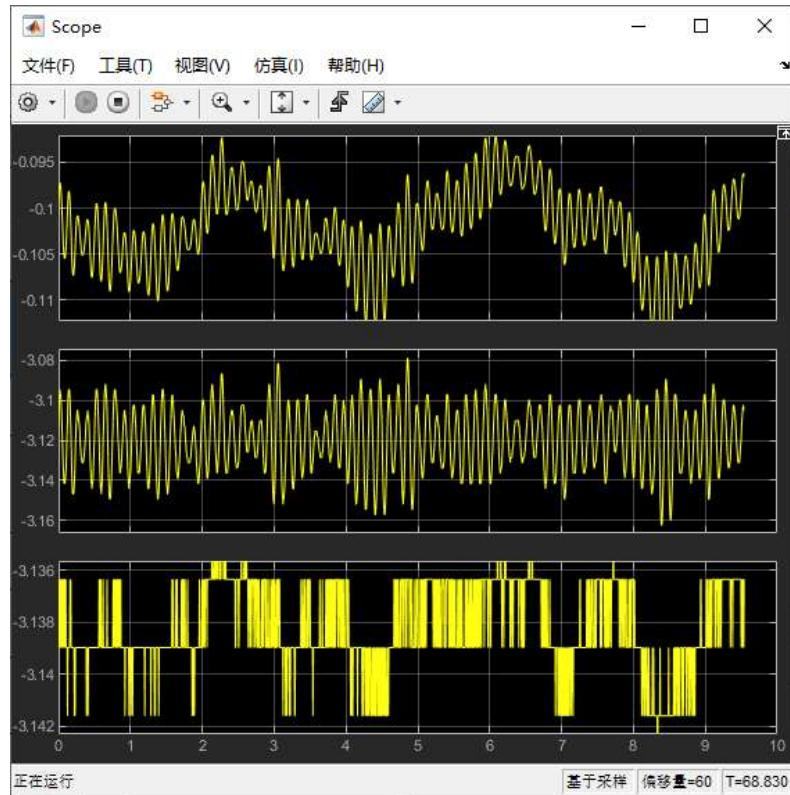


图 4: 17.3205 112.3115 -200.7925 18.2426 2.7711 -32.6419

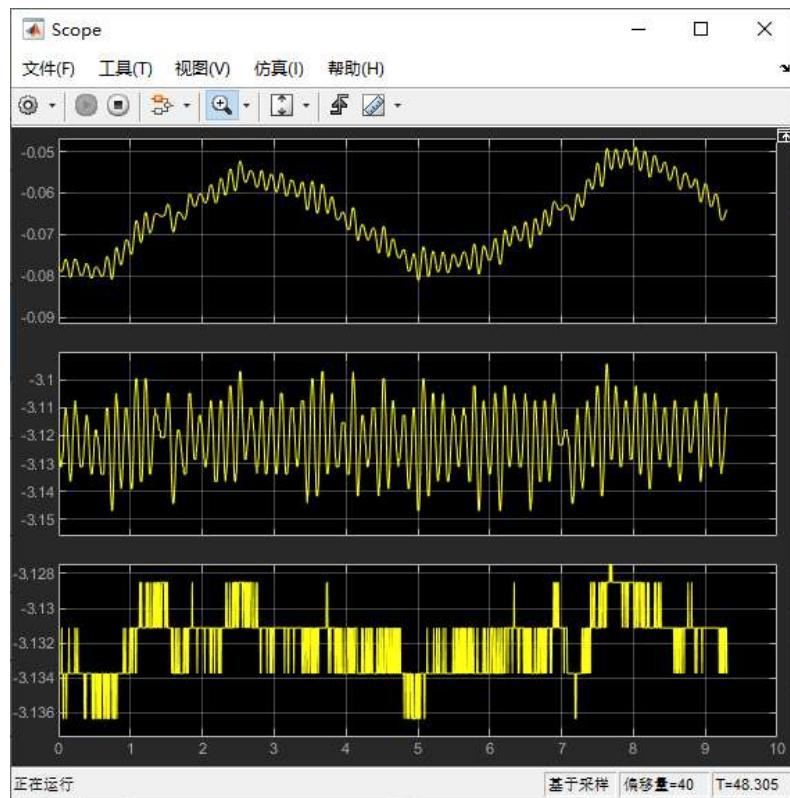


图 5:  $K=[8.6603 \ 97.3161 \ -149.5523 \ 10.2604 \ 3.6414 \ -23.999]$

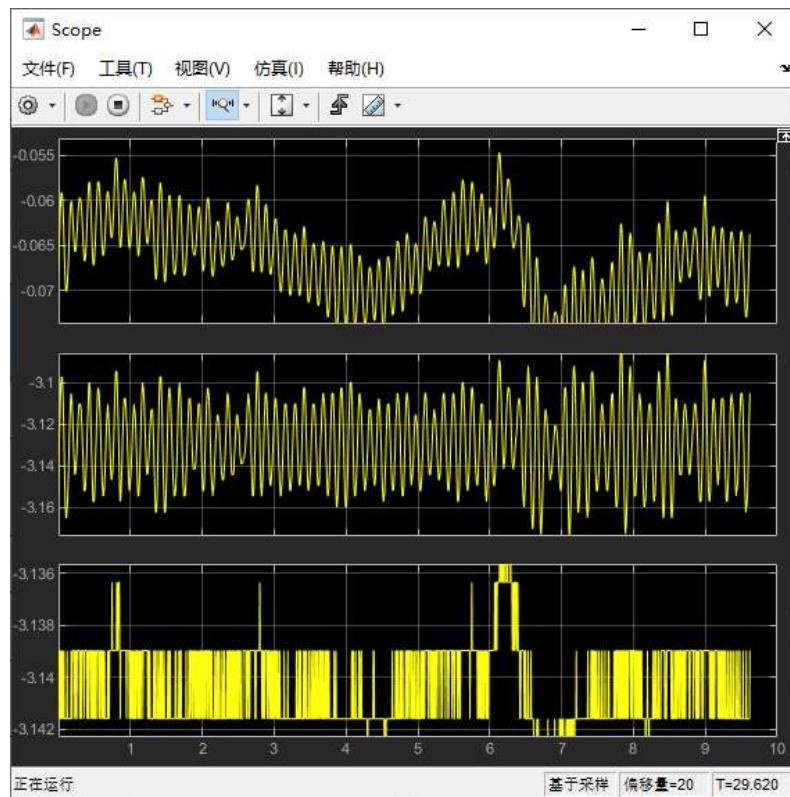


图 6:  $K=[18.7 \ 117.6126 \ -215.0109 \ 19.7975 \ 2.6482 \ -35.0007]$

## 影响分析：改变 $Q$ 和 $R$ 对控制效果的影响

### 增大 $Q$ 的值：

**效果：**增大  $Q$  增大了状态误差对代价函数的贡献，导致 LQR 控制器更加重视减小状态误差。这通常会导致系统的控制增益  $K$  增大，从而使得控制器对状态的反应更加敏感，产生更快速的控制响应。

**观察效果：**系统可能变得更加迅速响应，但也可能变得不稳定，或者控制输入幅度过大。

### 增大 $R$ 的值：

**效果：**增大  $R$  增大了控制输入的代价，使得控制器更加倾向于使用较小的控制输入。因此，增大  $R$  会导致控制增益  $K$  变小，系统的响应可能会变得较为缓慢。

**观察效果：**系统的控制输入更平稳，但可能导致控制过程不够迅速，或者无法有效地消除状态误差。

### 改变 $Q$ 和 $R$ 的比例：

**效果：**通过调节  $Q$  和  $R$  的相对大小，可以在快速响应和控制输入平稳性之间进行权衡。较大的  $Q$  值会导致快速的状态追踪，而较大的  $R$  值则会使得控制输入更加平稳。

**观察效果：**适当的  $Q$  和  $R$  比例能够得到较为理想的控制效果，即既能保证系统的快速响应，又能避免过大的控制输入和系统震荡。

## 6 实验总结与思考

通过这次实验，我深刻体会到控制系统设计中对于参数调节的重要性，特别是在 LQR 控制器的应用中， $Q$  和  $R$  矩阵的选取直接决定了系统的响应特性和稳定性。实验过程中，我们尝试了多组不同的  $Q$  和  $R$  矩阵，观察到随着参数的变化，系统的响应速度、稳定性以及控制输入的幅度也发生了显著变化。尤其是在调整  $Q$  和  $R$  比例时，能够更加灵活地平衡控制系统的敏捷性与平稳性，给我留下了深刻印象。

此外，实际操作中我们还发现了一些细节问题，比如参数选择不当可能导致系统响应过快而不稳定，或者响应过慢且无法有效跟踪目标状态。这让我意识到，控制系统设计不仅仅是数学模型的推导，更是对实际应用中各方面因素的综合考虑。

这次实验不仅让我对 LQR 控制器有了更加深入的理解，也提高了我在实际控制系统中参数调整与优化的能力。未来在遇到类似问题时，我能够更加自信地选择合适的控制方法，并根据实际需求调整相关参数，以优化系统性能。