



# 滑膜变结构控制实验汇报

汇报人:张聿韬

时间: 2022-11

# 目录

-01-

控制原理



-02-

解题思路



-03-

仿真实现



-04-

讨论总结



### 滑膜变结构控制原理

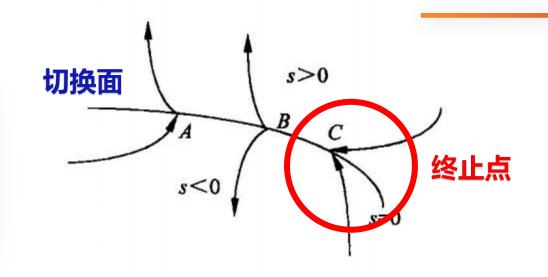
#### 变结构控制

滑模变结构控制是变结构控制系统的一种控制策略。这种控制策略与常规控制的根本区别在于控制的不连续性,即一种使系统"结构"随时间变化的开关特性。该控制特性可以迫使系统在一定特性下沿规定的状态轨迹作小幅度、高频率的上下运动,即所谓的滑动模态或"滑模"运动。这种滑动模态是可以设计的,且与系统的参数及扰动无关。

#### 终止点

**定义**: 系统运动点到达切换面s=0附近时,从切换面的两边趋向于该点(点C)。

**意义**: 在切换面上某一区域内所有的点都是终止点的话,则一旦运动点趋近于该区域时,就被"吸引"在该区域内运动。



### 滑膜变结构控制原理

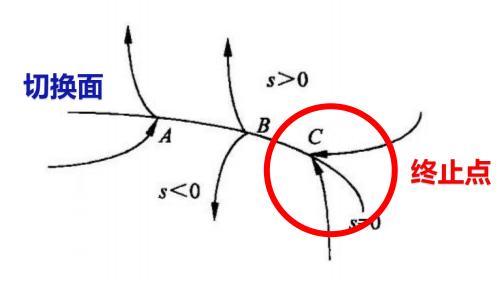
1. 按照滑动模态区上的运动点都必须是终止点这一要求,当运动点到达切换面s(x)=0附近时,必有:

$$\left\{egin{array}{l} \lim_{s o 0^+}\dot{s}\leqslant 0 \ \lim_{s o 0^-}\dot{s}\geqslant 0 \end{array}
ight. rac{\exists \lim_{s o 0^+}\dot{s}\leqslant 0\leqslant \lim_{s o 0^-}\dot{s}}{\sup_{s o 0^-}\dot{s}\geqslant 0} 
ight.$$

2. 上式被简化后的不等式对于系统提出了一个形如<mark>李雅普</mark> 诺夫函数的必要条件:

$$\begin{cases} \lim_{s \to 0} s\dot{s} \leq 0 \\ v(x_1, x_2 \cdots x_n) = [s(x_1, x_2 \cdots x_n)]^2 \Rightarrow V = \frac{1}{2}s^2 \end{cases}$$

3. 由于在切换面邻域内函数式  $s^2$ 是正定的,而按照不等式,他的导数是负半定的,也就是说在s=0附近v是一个非增函数,因此等式是系统的一个条件李亚普诺夫函数。系统本身也就稳定于条件s=0。





## 一、基于趋近律的滑模控制

$$G_{(s)} = \frac{133}{s^2 + 25s}$$

- 将被控对象转化为状态空间方程的形式;
- 写出基于等效控制方法的滑模控制器设计步骤;
- 求基于三类趋近律的滑模控制律,作出系统状态的相轨迹图;作出不同设计参数  $\varepsilon$ , k,  $\alpha$  所对应的滑模控制律轨迹图。



#### 第二问

• 被控对象: 
$$\dot{x} = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -25 \end{vmatrix} x + \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \end{vmatrix} u$$

$$y = [133 \ 0]x$$

C是矩阵还是数?

• 一阶滑膜面:  $s = cx^{-1}$ 

• 求导代入被控方程: 
$$\dot{s} = c\dot{x} = cAx + cBu$$
 ①

• 趋近率方程:  $\dot{s} = -\varepsilon \operatorname{sgn}(s)$ 

$$\dot{s} = -\varepsilon \operatorname{sgn}(s) - ks$$
 2

$$\dot{s} = -k|s|^a \operatorname{sgn}(s)$$

$$u = -(cB)^{-1}[cAx + \varepsilon \operatorname{sgn}(s)]$$

$$u = -(cB)^{-1}[cAx + \varepsilon \operatorname{sgn}(s) + ks]$$

$$u = -(cB)^{-1}[cAx + k|s|^{a}sgn(s)]$$

#### 第三问

#### • 控制器输出:

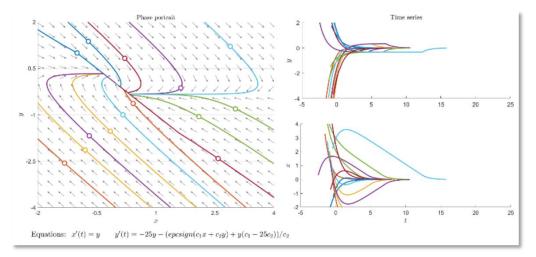
$$u = -(cB)^{-1}[cAx + \varepsilon \operatorname{sgn}(s)]$$

$$u = -(cB)^{-1}[cAx + \varepsilon \operatorname{sgn}(s) + ks]$$

$$u = -(cB)^{-1}[cAx + k|s|^{a}\operatorname{sgn}(s)]$$

#### • 相轨迹方程:

$$\begin{split} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -25x_2 - \frac{1}{c_2} \left[ \varepsilon \cdot sign(c_1x_1 + c_2x_2) + x_2(c_1 - 25c_2) \right] \\ \dot{x}_2 &= -25x_2 - \frac{1}{c_2} \left[ epc \cdot sign(c_1 \cdot x_1 + c_2x_2) + x_2(c_1 - 25c_2) + k(c_1x_1 + c_2x_2) \right] \\ \dot{x}_2 &= -25x_2 - \frac{1}{c_2} \left[ x_2 \cdot (c_1 - 25c_2) + k|c_1x_1 + c_2x_2|^a \cdot sign(c_1x + c_2x_2) \right] \end{split}$$



• 使用工具: https://github.com/MathWorks-Teaching-Resources/Phase-Plane-and-Slope-Field

# 二、基于二阶系统的滑模控制器设计

$$J\ddot{\theta} = u + d$$

- 分别编写被控对象、控制器的S函数;
- 采用 Simulink 仿真设计并实现滑模控制系统;
- 将 $\theta d$ 设置为阶跃信号, $\delta = 0.5$ ,观察并分析输出响应。调整滑模面参数 c,观察并分析输出响应。

#### 设计流程

稳定性条件

後计控制器u

### 控制器设计

• 构造李雅普诺夫函数: 
$$V = \frac{1}{2}s^2$$

• 根据稳定性条件构造u:

$$\dot{s}(t) = c\dot{e} + \ddot{e} = c\dot{e} + \ddot{\theta} - \ddot{\theta}_{d}$$

$$= c\dot{e} + \frac{1}{J}(u+d) - \ddot{\theta}_{d}$$

$$s\dot{s} = s\left(c\dot{e} + \frac{1}{J}(u+d) - \ddot{\theta}_{d}\right)$$

$$u = J\left[-c\dot{e} + \ddot{\theta}_{d} - \varepsilon \operatorname{sgn}(s)\right] - D$$

如何利用扰动上 界D设计控制器?

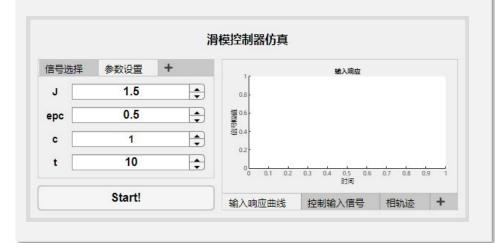
• 稳定性证明:  $s\dot{s} = s(-\varepsilon \operatorname{sgn}(s) + d - D) < 0 \Longrightarrow \dot{V} \leq 0$ 

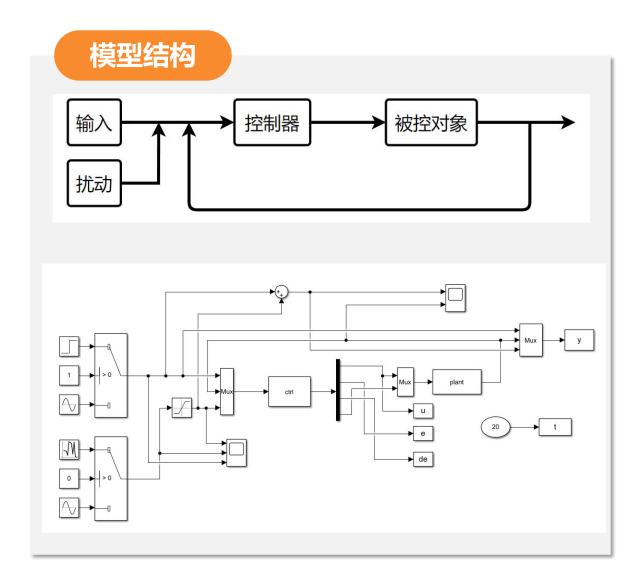




### 参数设置

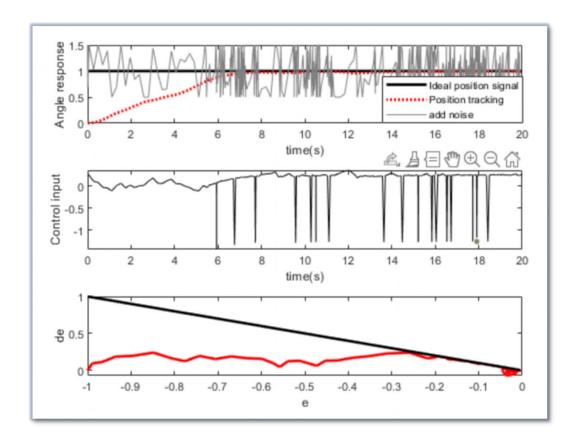
参数符号	数值	描述
J	1.5	转动惯量
ерс	0.5	固定切换倍率
С	1	滑膜的Kp
t	10	仿真时长





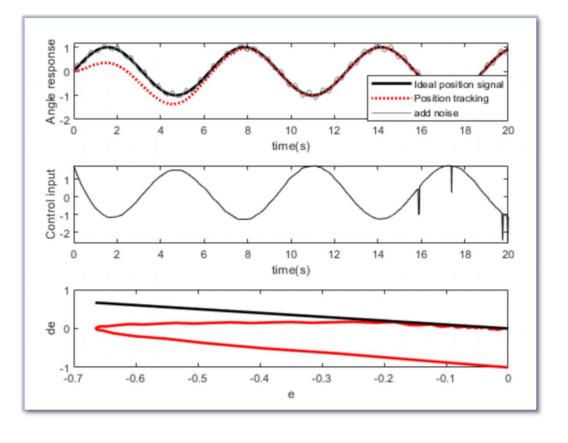
# Simulink仿真

• 输入: 阶跃信号 • 扰动: 随机信号



• 输入: 正弦信号

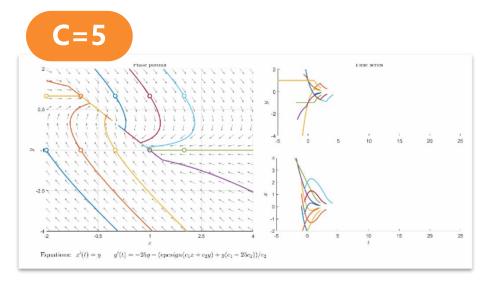
扰动:正弦信号

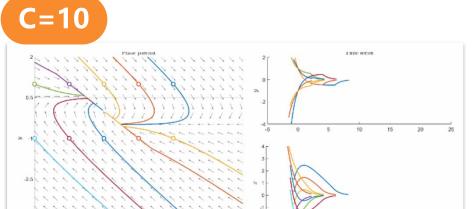




### 初始点

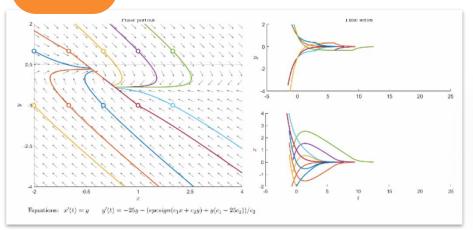
$x_0$	$y_0$
-2	-1
-1	-1
0	-1
1	-1
2	-1
-2	1
-1	1
0	1
1	1
2	1





Equations: x'(t) = y  $y'(t) = -25y - (epcsign(c_1x + c_2y) + y(c_1 - 25c_2))/c_2$ 

### C=15

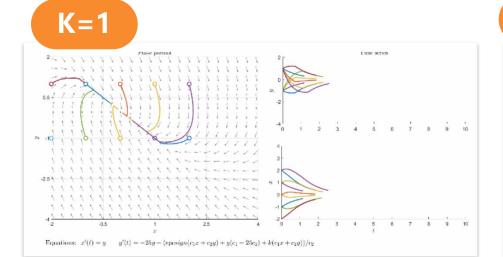


#### 对于趋近律①的结论

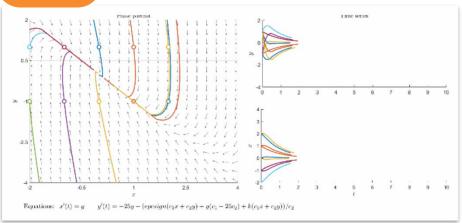
C较小时到达终止点所用时更短

### 初始点

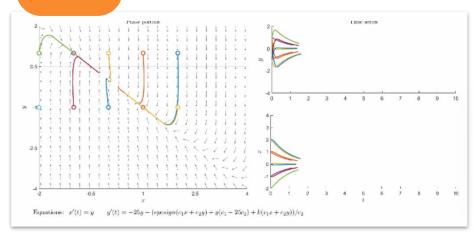
$x_0$	${\mathcal Y}_0$
-2	-1
-1	-1
0	-1
1	-1
2	-1
-2	1
-1	1
0	1
1	1
2	1







#### K=10

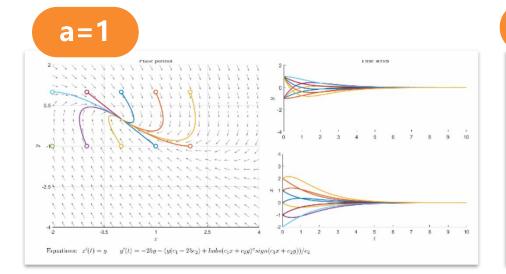


#### 对于趋近律②的结论

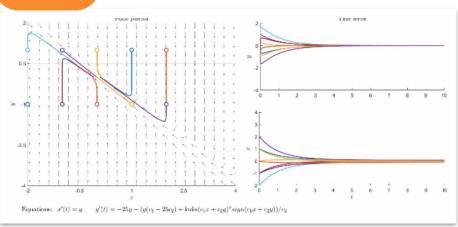
C=5不变, K较大时到达终止点所用时更短

### 初始点

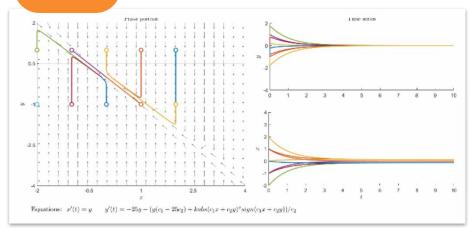
$y_0$
-1
-1
-1
-1
-1
1
1
1
1
1





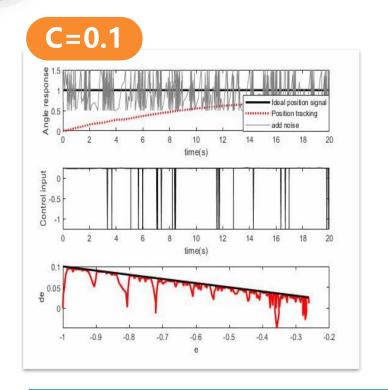


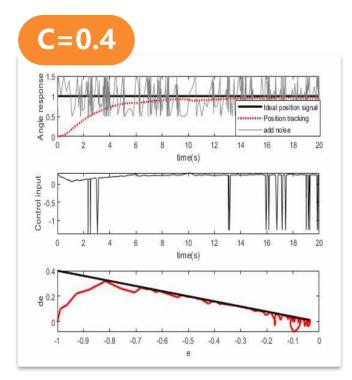
#### a=10

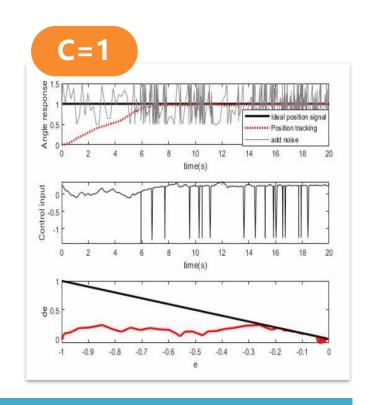


#### 对于趋近律③的结论

C=5, K=1不变, a较大时到达终止点所用时更短

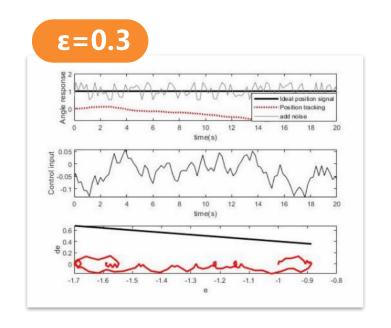




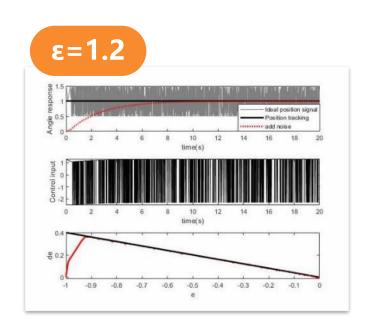


#### 对于滑模控制趋近律①参数设置的结论

C适当小时到达终止点所用时更短, 但设置过于小时, 会造成频繁切换形成的抖振现象, 影响稳定性.





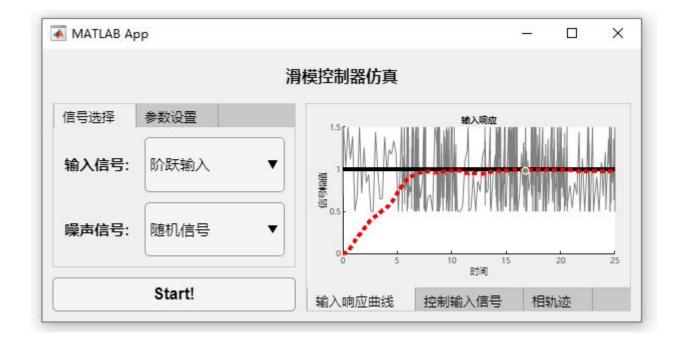


#### 对于滑模控制趋近律①参数设置的结论

ε偏小时到达终止点相当困难, 但设置过于大时, 会造成频繁切换形成的抖振现象, 影响稳定性. 我认为ε的设置应当由系统执行器本身的开关特性决定, 比如说对于电机速度控制的话ε可以给高; 位置控制的话ε建议给低, 但不能过低.



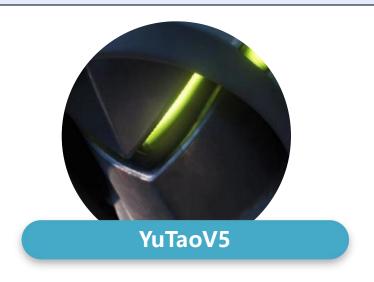
### Matlab APP设计



### 参考书目



# Thanks for watching~



if you have any question, you can send issues in <a href="https://github.com/YuTaoV5/SMC demo">https://github.com/YuTaoV5/SMC demo</a>