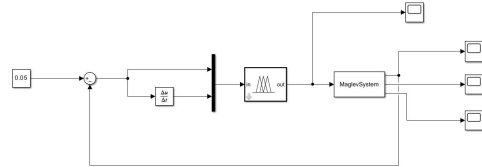


智能控制报告

3.模糊控制

3220101111 洪晨辉

遂不采用高木-菅野方法，而以普通模糊控制设计算法。Simulink 实现如下：



其中，磁悬浮系统的系统函数导数部分实现如下：

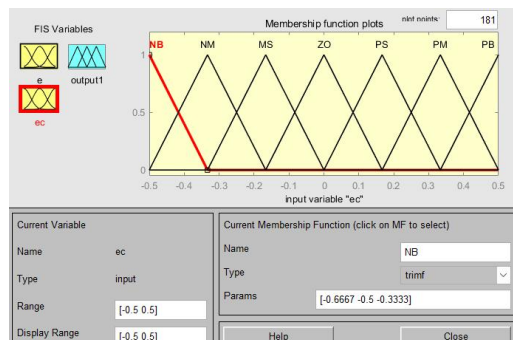
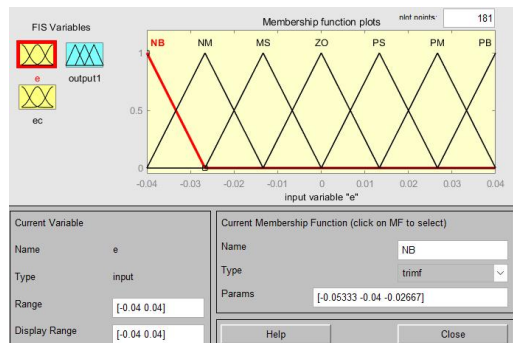
```
function Derivatives(block)
% States
x = block.ContStates.Data(1);
v = block.ContStates.Data(2);
I = block.ContStates.Data(3);

% Input force
u = block.InputPort(1).Data;

% Parameters
m = 0.05; % Ball mass (kg)
g = 9.81; % Gravitational acceleration (m/s^2)
K = 0.005; % Electromagnetic force
R = 5; % Coil Resistance
L = 0.01; % Coil Inductance

% Equations of motion
dx = v;
dv = ( K * ( I / x ) ^ 2 - m * g ) / m;
dI = ( u - ( K * I * v ) / x - I * R ) / L;
% State derivatives
block.Derivatives.Data = [dx; dv; dI];
end
```

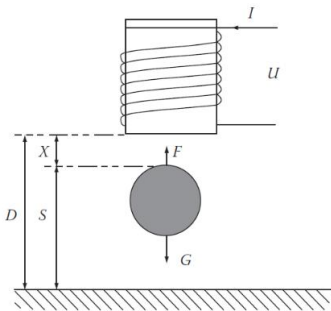
其模糊控制如下：



一、问题分析

模糊控制是以模糊集合论，模糊语言变量及模糊逻辑推理为基础的计算机智能控制。该机制的输入是透过模糊化将原本 0 和 1 的资料变成 0 到 1 之间的数值，相对于原本的非零即一的二分法较接近人类的思维。在推论的过程中资料为模糊的，但透过解模糊化的步骤，可使得输出为精确值。模糊控制常用于智能运算、建构专家系统、和类神经网络共同应用。本报告着力于一个简单的磁悬浮系统的控制，以期初步掌握一般模糊控制的设计。

考虑如下的一个磁悬浮系统：



以下为正方向，其系统满足如下动力学约束：

$$F - G = m\ddot{x}$$

电磁力有：

$$F = K\left(\frac{I}{x}\right)^2$$

线圈自身存有电磁学约束：

$$u - K\frac{I}{x} = L\dot{I} + IR$$

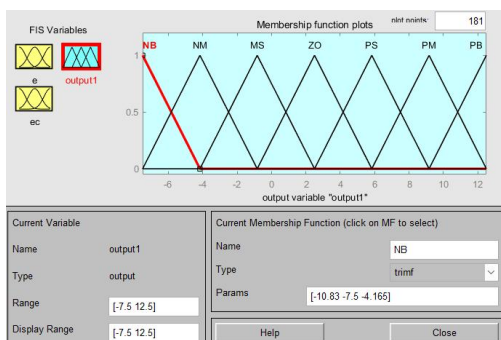
（红为刻意忽略的物理学错误）

可知，其为一个典型的非线性系统。取状态向量为 $\mathbf{x} = (x, \dot{x}, I)^T$ ，可得其状态空间模型：

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ \frac{1}{m} \left[K \left(\frac{x_3}{x_1} \right)^2 - mg \right] \\ \frac{1}{L} \left(U - K \frac{x_3}{x_1} x_2 - x_3 R \right) \end{bmatrix}$$

二、算法设计

现设计一模糊控制算法，使其能够将小球控制在固定位置。由于该非线性系统的线性化略为困难，



设置如下规则：

e/ė	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NB	NS	NS	ZO	PS	PM
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM	MS	ZO	PS	PS	PB	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PM	PB	PB	PB

以此控制小球位置。

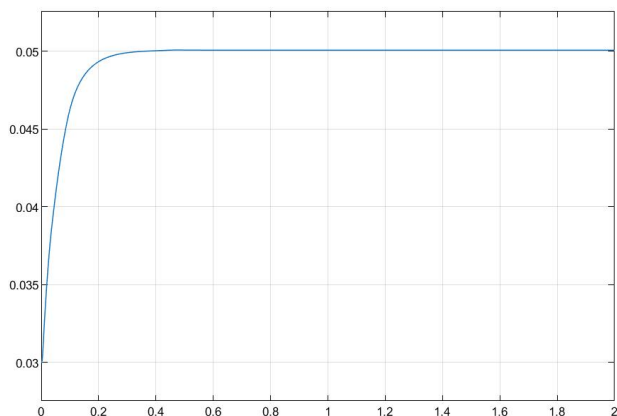
三、结果表现

1. 针对上述磁悬浮系统，设计模糊控制器使钢球位置稳定在期望位置 0.05m 。假设初始钢球位置为 0.03m ，初始速度和初始电流均为 0 。

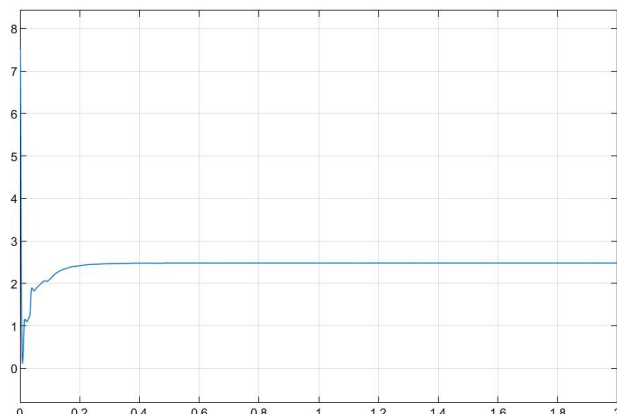
设置差额 e 论域为 $[-0.04, 0.04]$ ，差额导数 e_c 论域为 $[-0.5, 0.5]$ 。经过计算得，在稳定状态下，电压 u 大小为

$$u = x_d R \sqrt{\frac{mg}{K}}$$

因此设输出论域为 $[-10+u, 10+u]$ ，大致相同即可，质心解模糊。得到 x 结果：



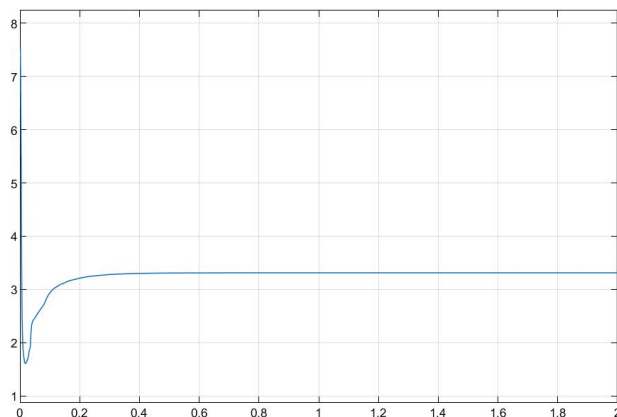
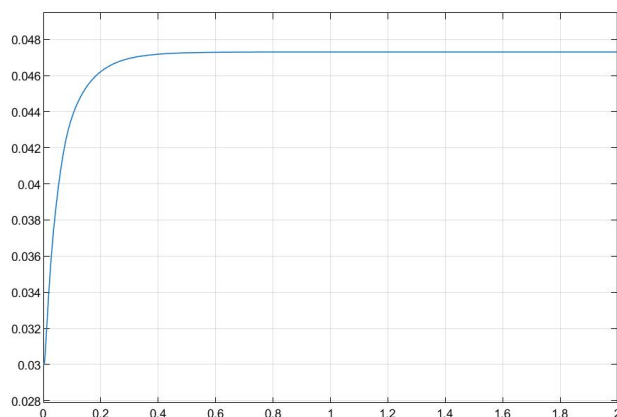
被很好地控制在了 0.05m 。输出电压 u 为：



并不平滑，效果受采样率及后向电路对地寄生电容等影响，但对于仿真而言足够了。力曲线及电流曲线与其相仿，说明 $F \propto u$ 近似成立，贡献了非常好的效果。对于一些别的无法控制的情况，该良好的线性关系并不成立。

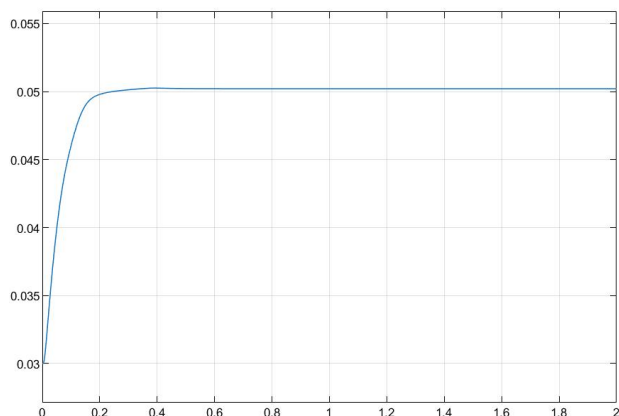
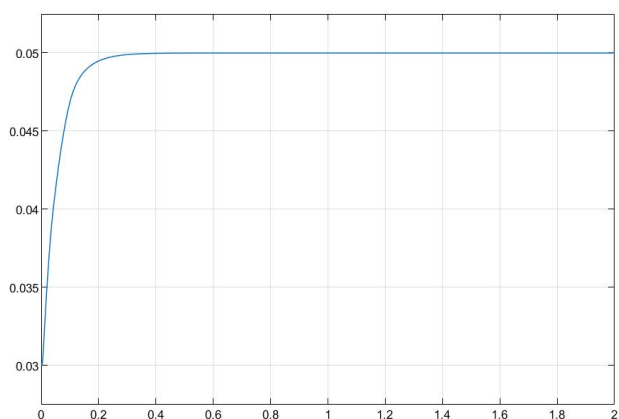
2. 改变钢球质量 0.1kg 。

单纯地改变 $m = 0.1\text{kg}$ ——不同时更改输出论域——会导致小球无法平衡至给定的位置，与其有较大差距。这显然是未更改论域导致的。



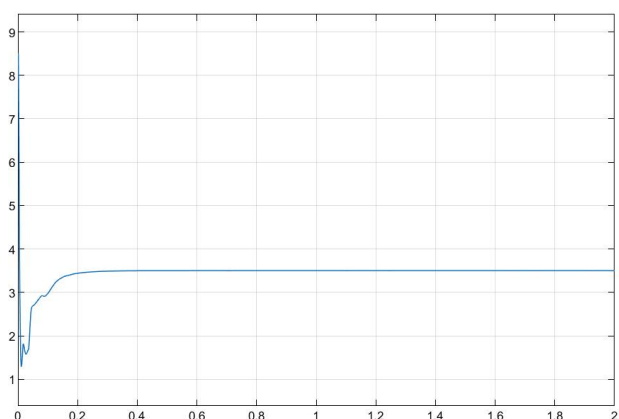
（电压变平滑了）

修正论域后，看上去与 0.05kg 时差距不大：



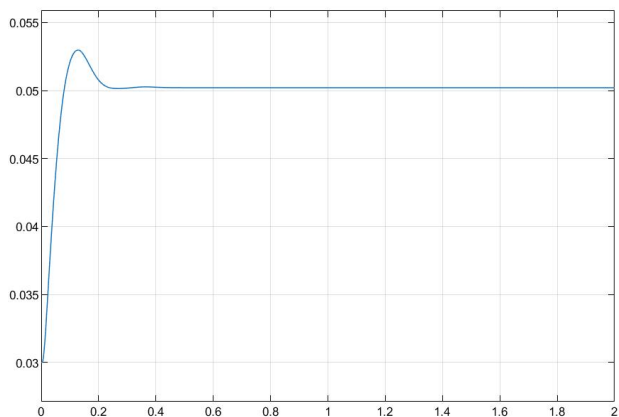
四、后记——神奇问题

一开始，笔者用的模糊控制并非七阶，而是三阶的，规则类似。事实证明，采用和七阶一样的参数，这个控制器效果并不好。

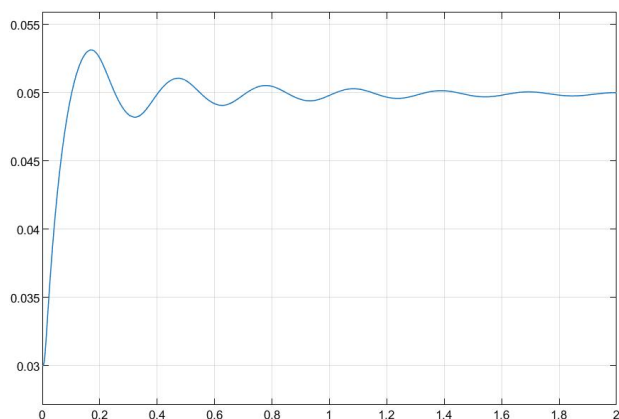


（电压再次出现毛刺）

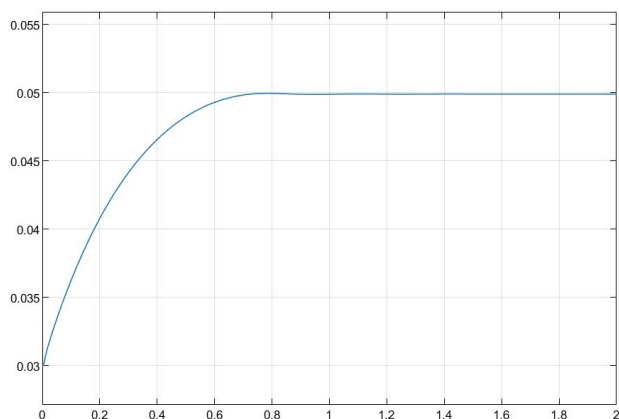
然而，让我们放大其变化。使得 $m = 1\text{kg}$,



问题终于浮现：控制出现较大超调量，这是我们不希望看到的。通过经验，有两种方法可以改变这种状况：一种是收窄 e_c 论域，一种是给 u 一个大于 1 的增益。这两种方法的本质都是增大对位姿变化的控制能力。这里采取第一种方案，将 e_c 论域更改为 $[-0.3, 0.3]$ ，即可获得很好的效果。



其超调和震荡比较猛烈。只有当 e_c 论域收窄到 $[-0.1, 0.1]$ 时，才能得到比较好的结果：



然而在这种情况下，其调节时间为七阶的四倍，证明更为精细的调节可以得到更好的效果。