



北京化工大学

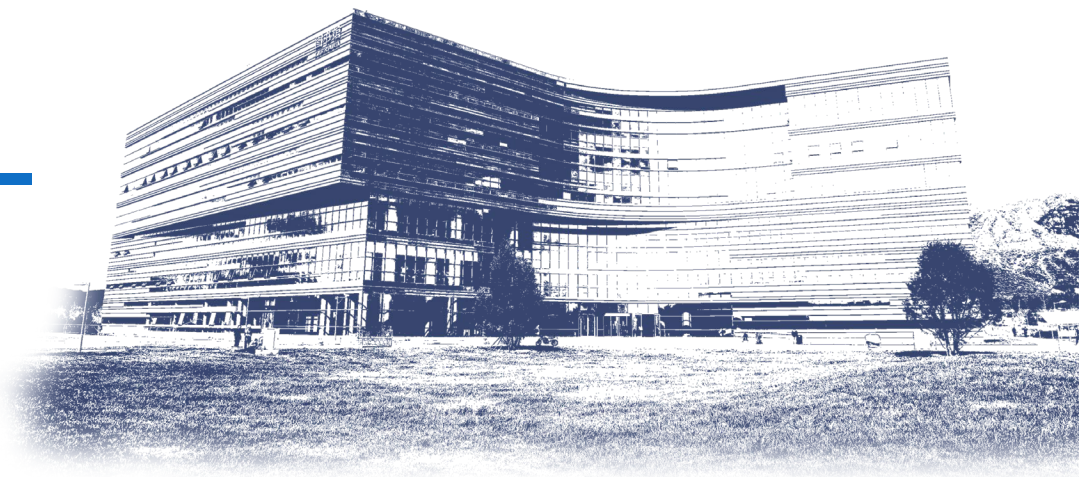
BEIJING UNIVERSITY OF CHEMICAL TECHNOLOGY

基于神经网络的一阶倒立摆控制

BP、GRNN、RBF (验证) : 神经网络算法

郭帅锋 青浩杨 李沛泽 : 小组成员

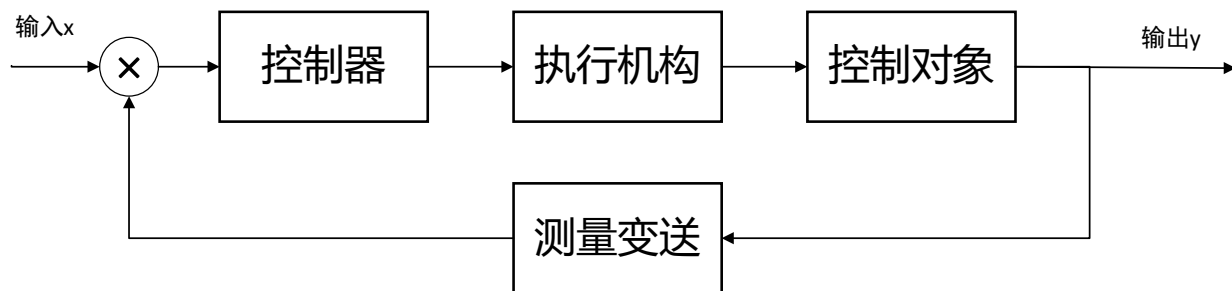
2021年11月13日



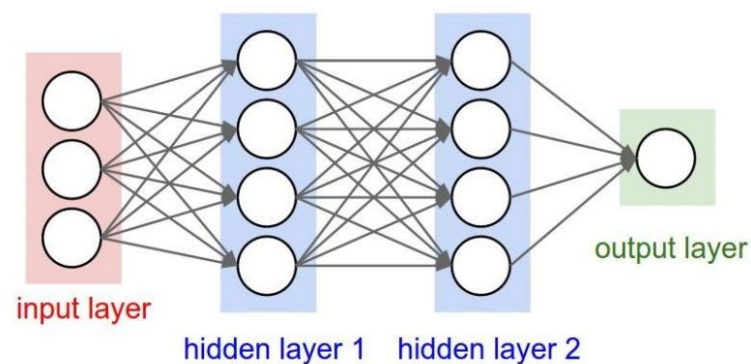
研究背景



倒立摆，是典型的**多变量、高阶次、非线性、强耦合、自然不稳定**系统
倒立摆系统的稳定控制是控制理论中的典型问题



在倒立摆的控制过程中能有效反映控制理论中的许多关键问题，如非线性问题、鲁棒性问题、随动问题、镇定、跟踪问题等。因此倒立摆系统作为典型的物理模型，常被用来检验新的控制理论和算法的正确性及其在实际应用中的有效性

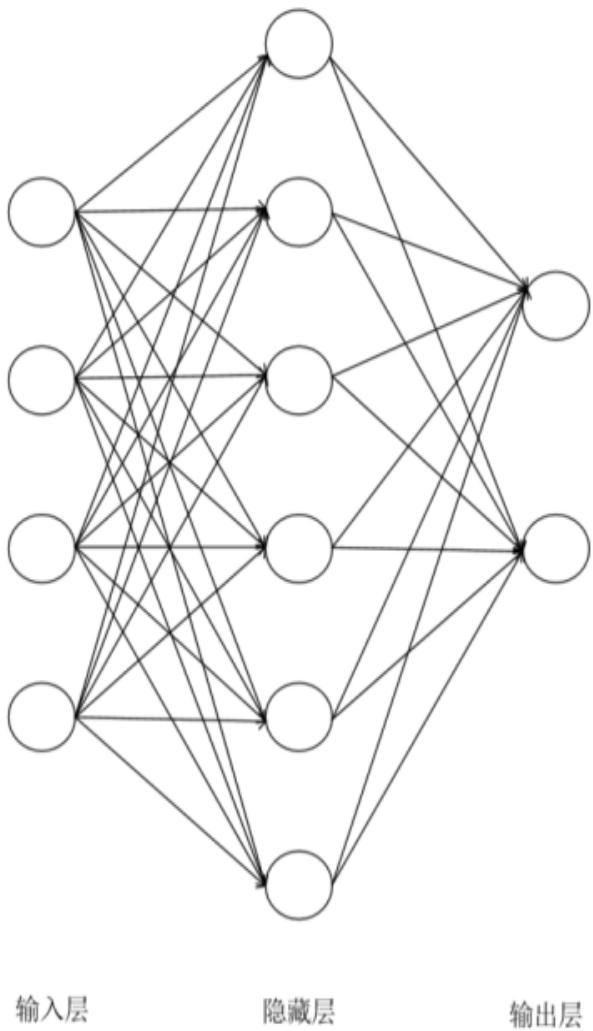


基础

BP神经网络离线训练控制
Levenberg-Marquardt 算法进行优化

扩展

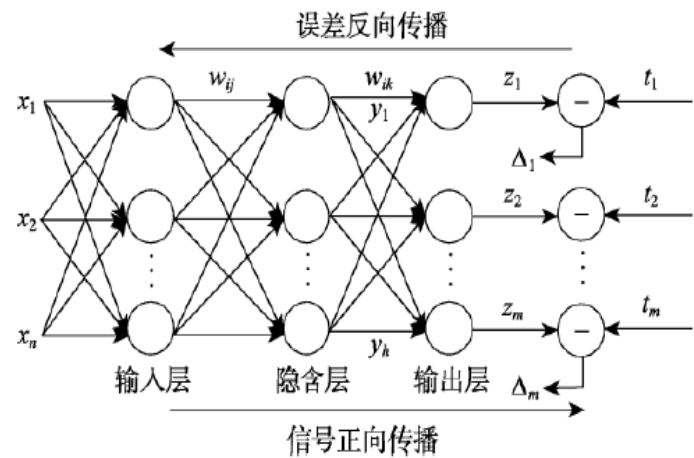
GRNN--广义回归神经网络拟合控制
RBF—径向基神经网络拟合控制验证



神经网络

人工神经网络 (Artificial Neural Network, 简称为ANN) 也简称为神经网络 (NN) , 是一种模仿动物神经网络行为特征, 进行分布式并行信息处理的算法数学模型

BP神经网络 (back propagation)



网络输入: $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$
隐含层输出: $y = [y_1, y_2, \dots, y_h]^T$
网络实际输出: $z = [z_1, z_2, \dots, z_m]^T$
网络目标输出 $t = [t_1, t_2, \dots, t_m]^T$

网络输入
↓
样本输入

网络输出
↓
样本输出

均方差

$$\varepsilon = \frac{1}{2m} \sum_{k=1}^m (t_k - z_k)^2$$

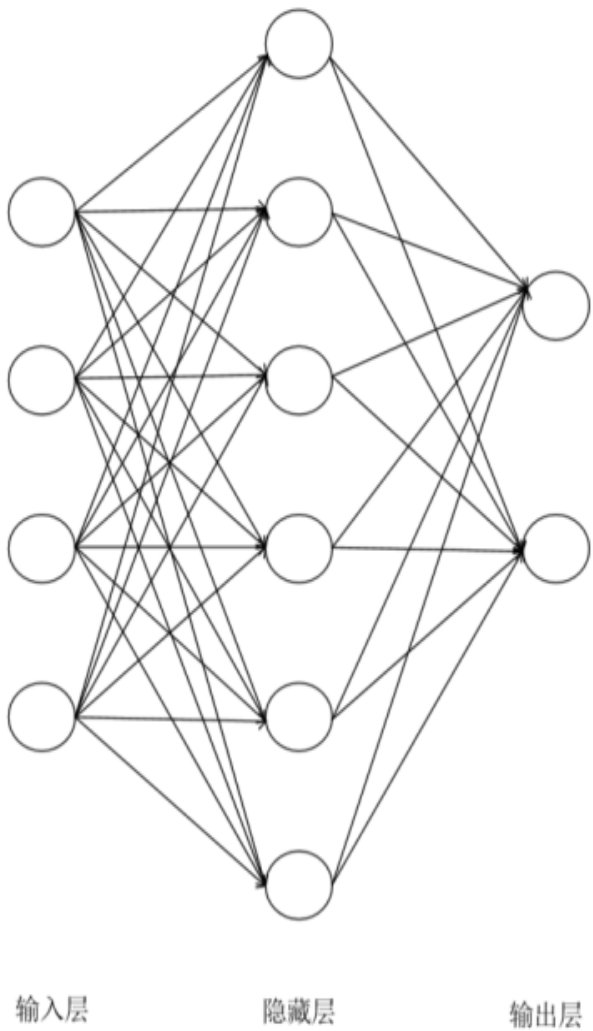


梯度下降法

$$\Delta w_{pq} = -\eta \frac{\partial \varepsilon}{\partial w_{pq}}$$

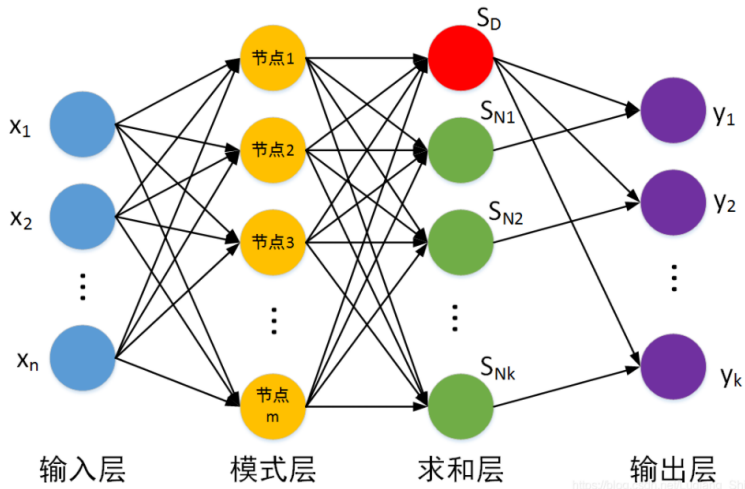
参数设置

网络层数
节点个数
激活函数
权重训练方法
迭代训练次数



GRNN神经网络（ Generalized Regression Neural Network ）

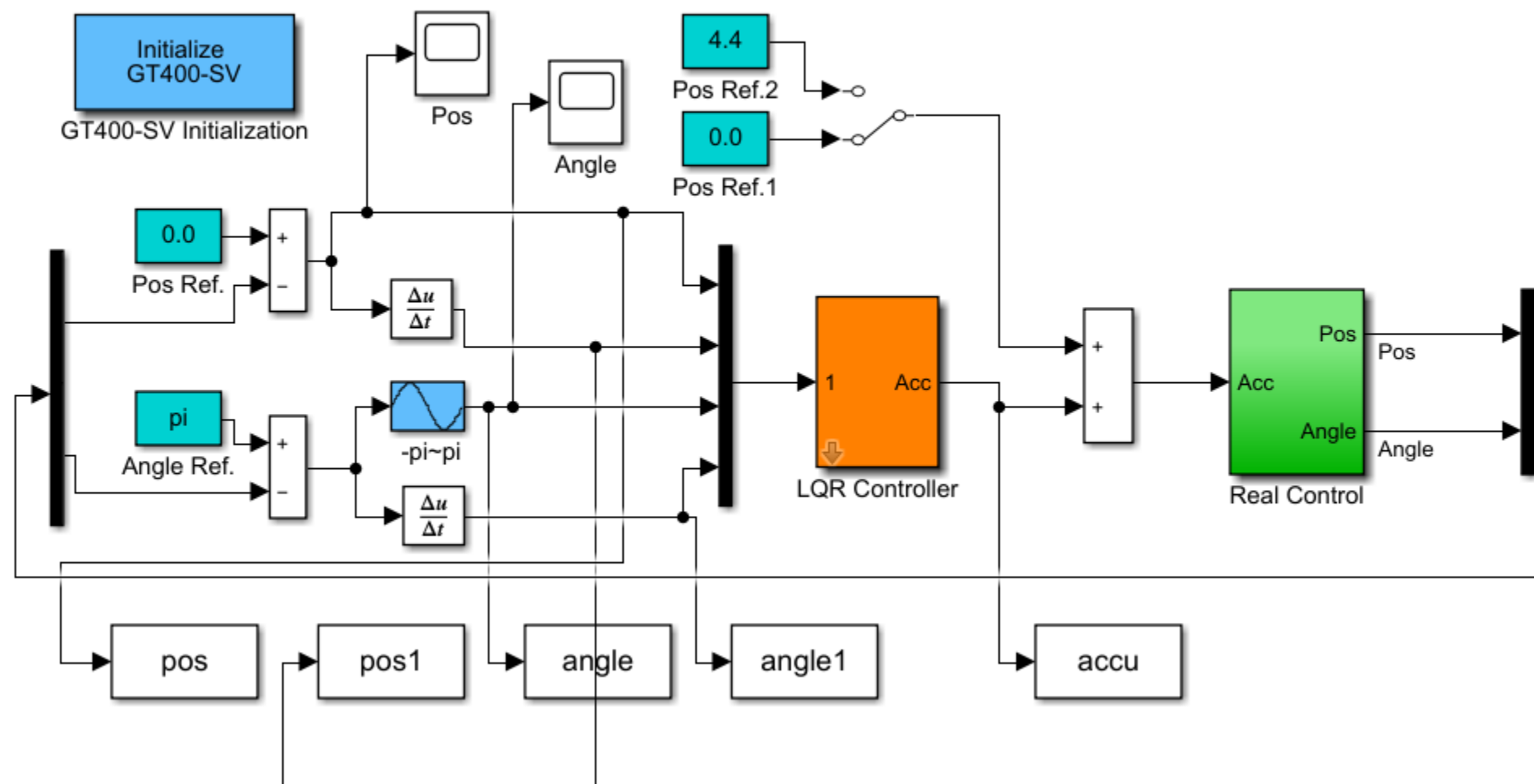
广义回归神经网络，其网络结构类似于RBF神经网络，GRNN也是一个前向传播的网络，不需要反向传播求模型参数。GRNN主要用于求解回归问题



过程参数	网络层数	权重训练方法
	节点个数	迭代训练次数
	激活函数	

- 输入层：仅线性输入，非权值连接
- 模式层：RBF层，每个节点对应一个激活函数
- 求和层：简单求和相加
- 输出层：输出预测结果

EXP.11 Googol Linear 1-Stage Inverted Pendulum--LQR Control

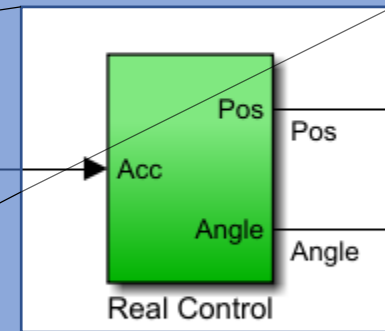
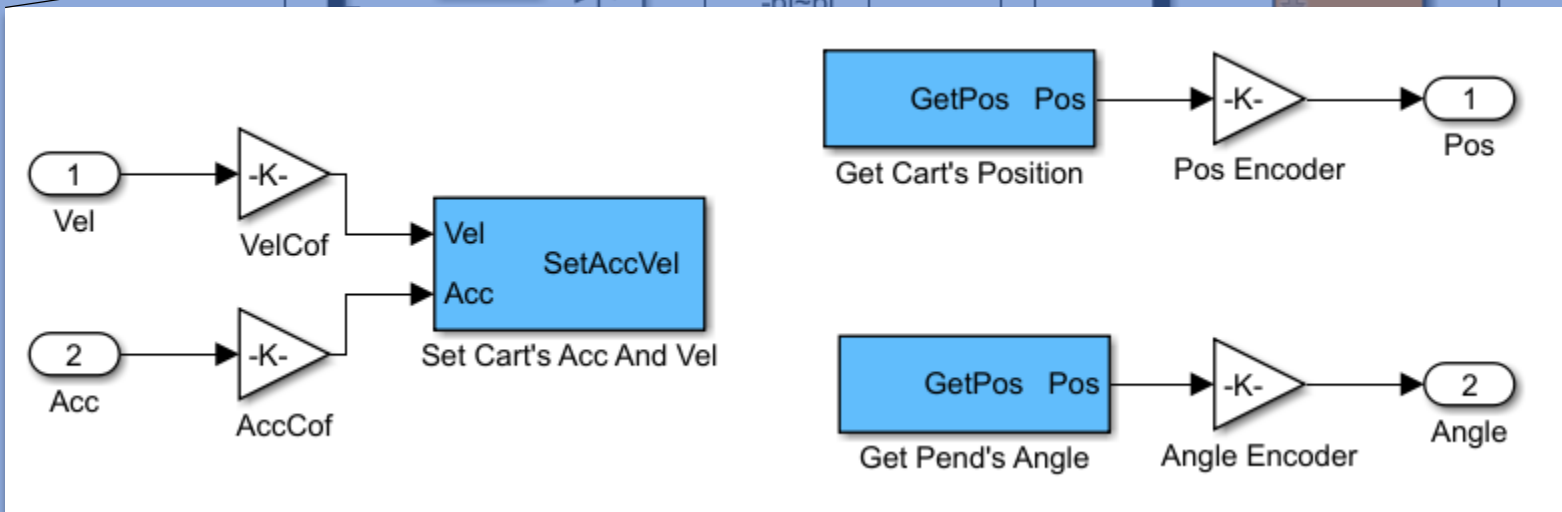
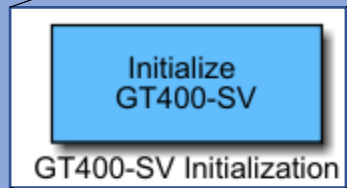


EXP.11 Googol L

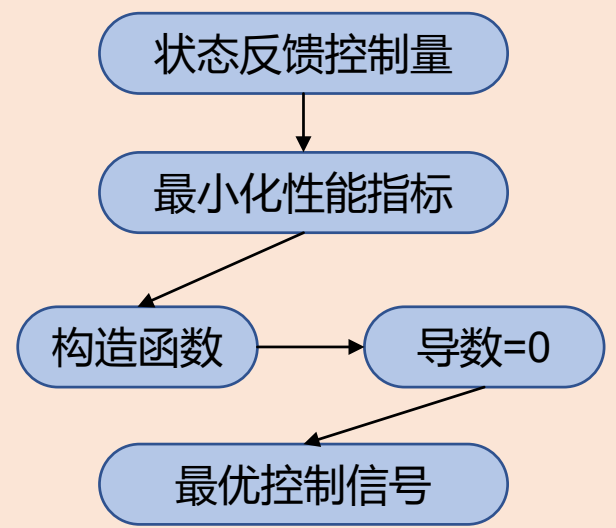
um--LQR Control

GT-400-SV Block Library

固高GT-400-SV-PCI运动控制卡基本模块库，主要是运动控制板卡的功能函数的封装

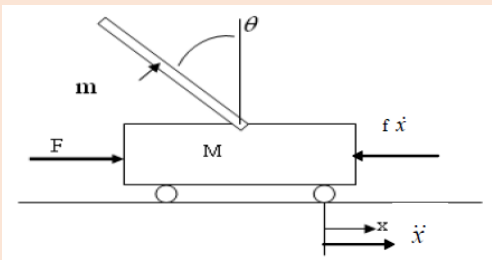


accu

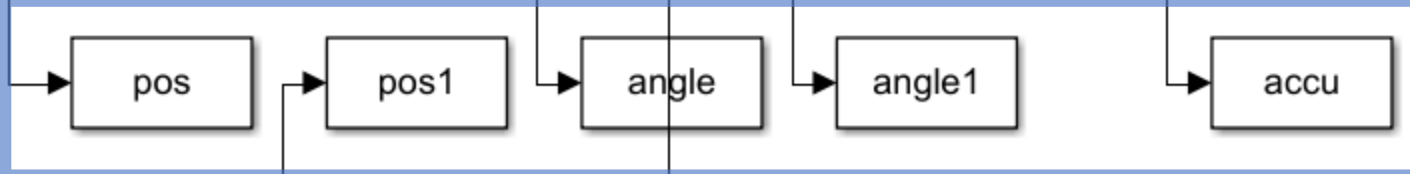
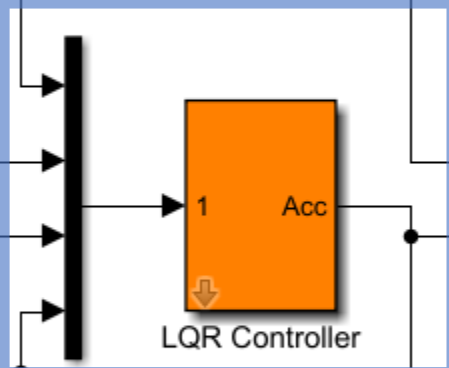


$K = [-22.3607 \ -17.4232 \ 70.4596 \ 13.2466]$

白箱模型



$$\ddot{\theta} = 29.4\dot{\theta} + 3\ddot{x}$$



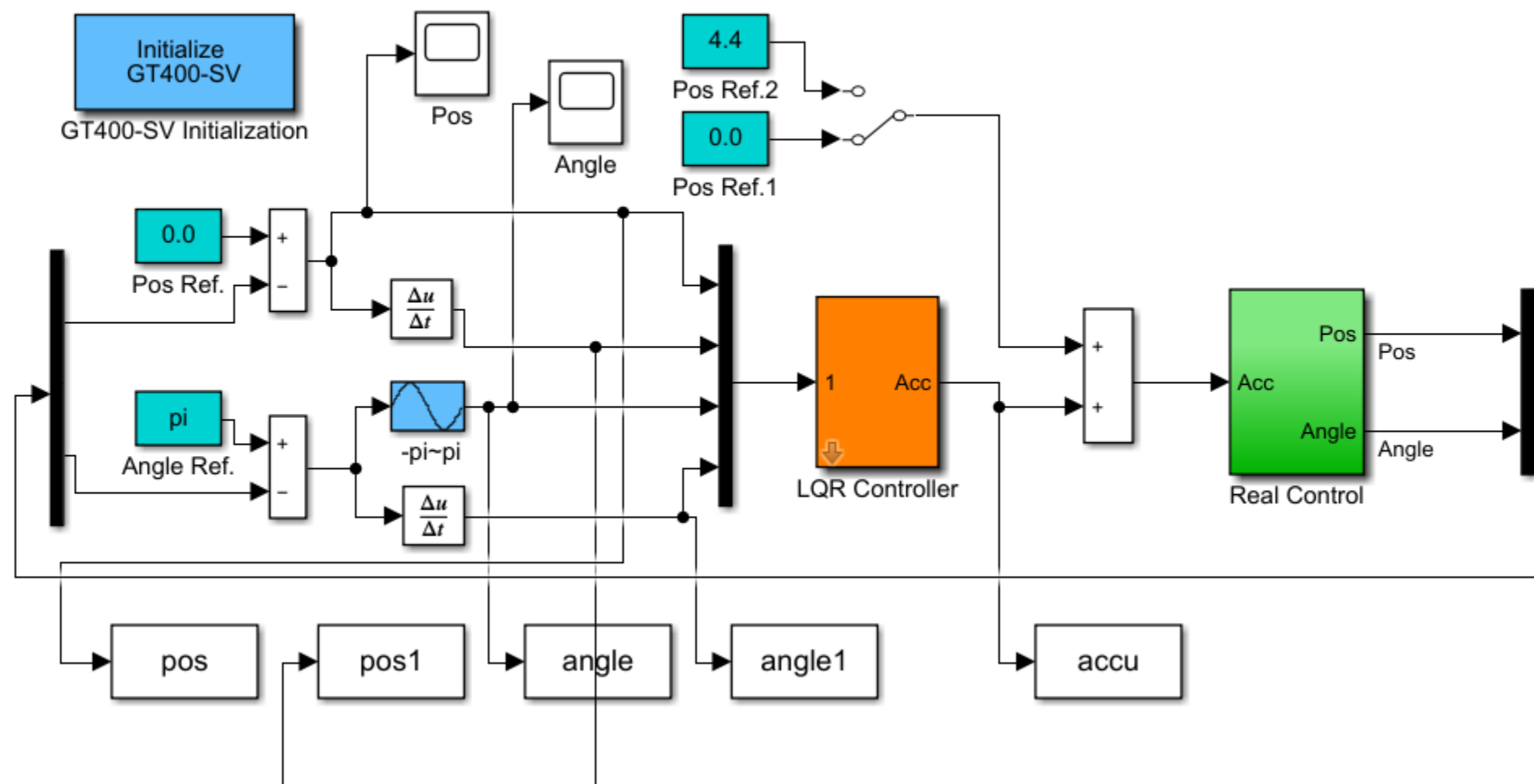
To Workplace 可将simulink仿真文件的变量采集并保存到工作区

LQR Controller

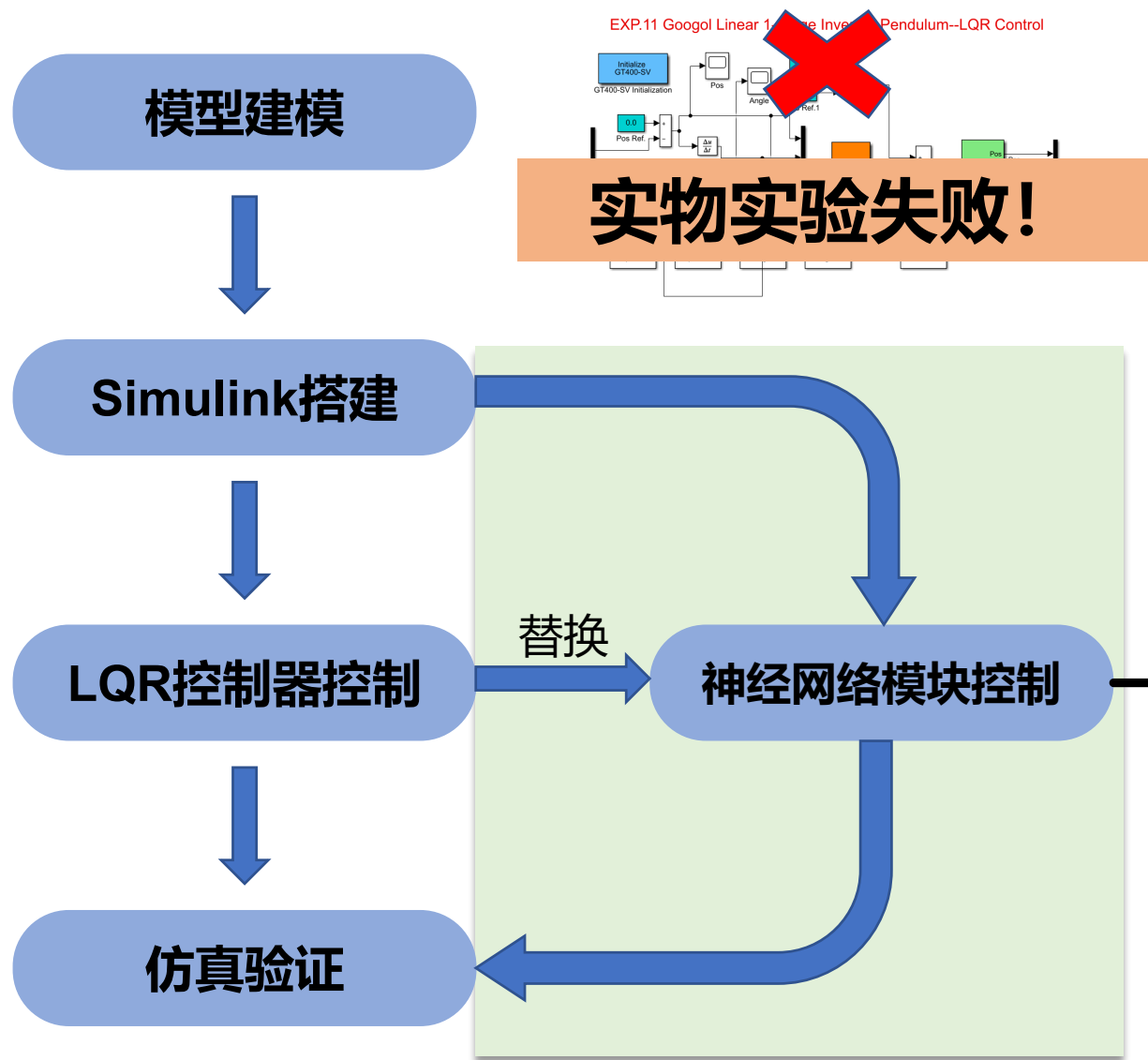
线性二次型最优调节器

LQR 问题的解是一个全状态反馈调节器，有非常好的鲁棒性能。它可以通过适当选取权矩阵和，在控制信号能量和输出性能之间进行调节。

EXP.11 Googol Linear 1-Stage Inverted Pendulum--LQR Control

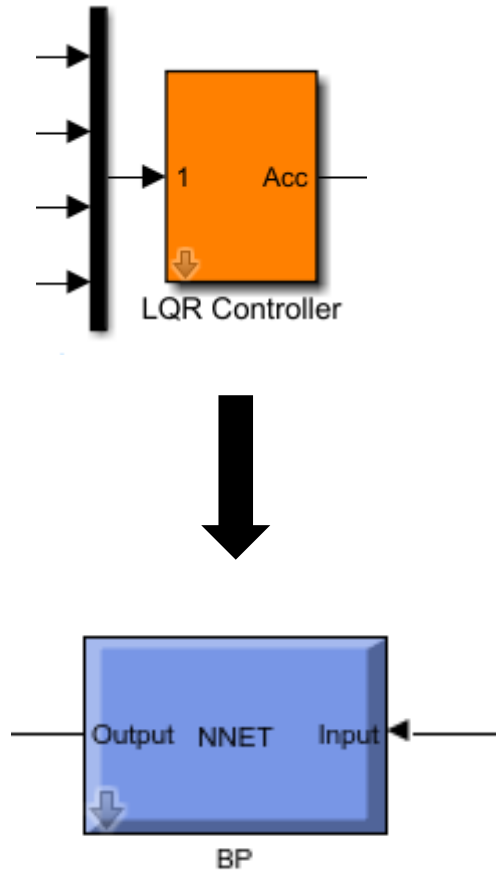


仿真实现 | 整体流程

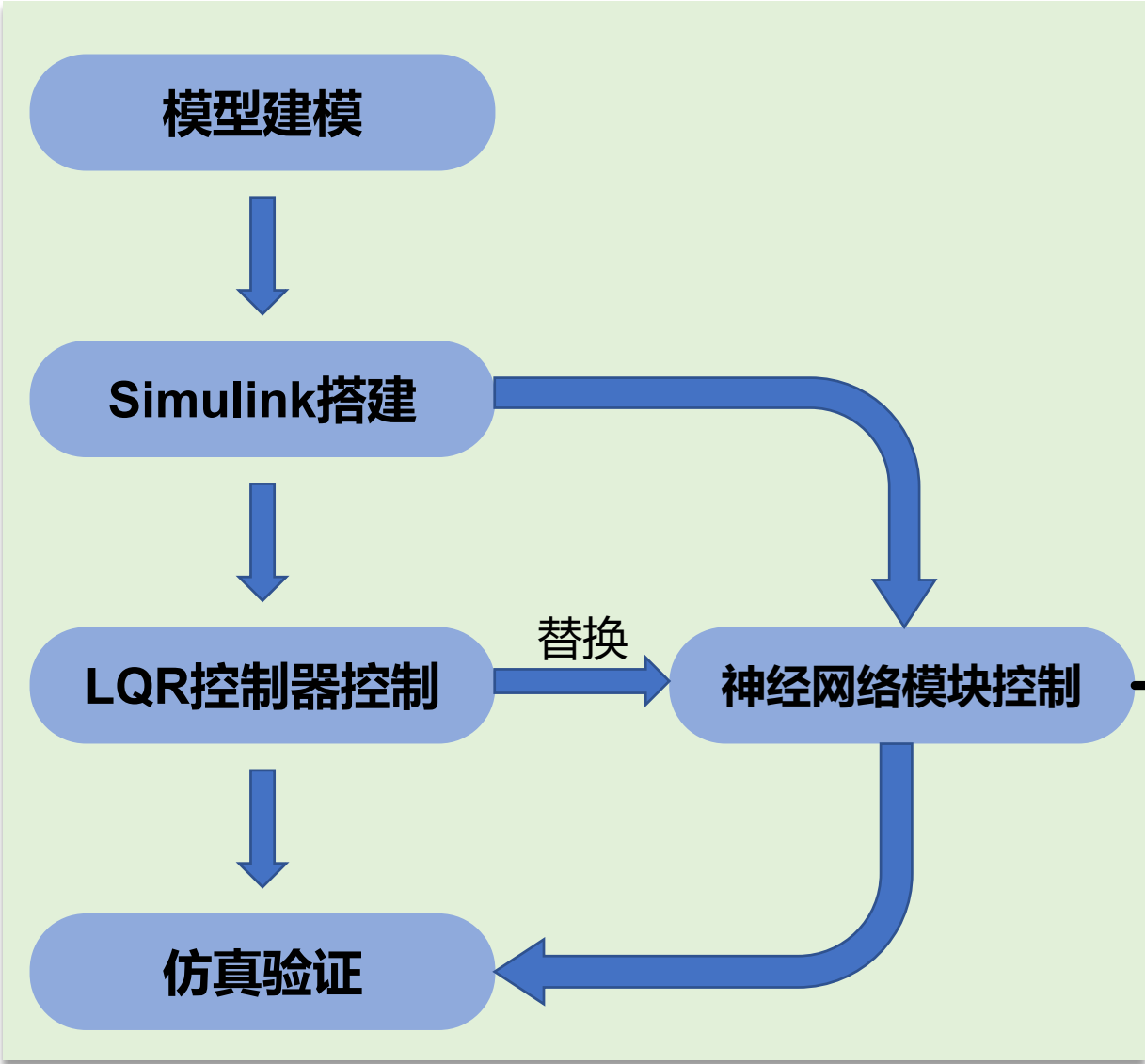


神经网络控制是一个黑箱模型，本质是通过数据训练，拟合出输入--输出数据间的非线性关系，并做到在给定输入的条件下，拟合得出的输出值无限逼近真实输出值，从而取得较好的控制效果

- 信号采集
- 算法训练
- 生成simulink控件
- 替换LQR控制器

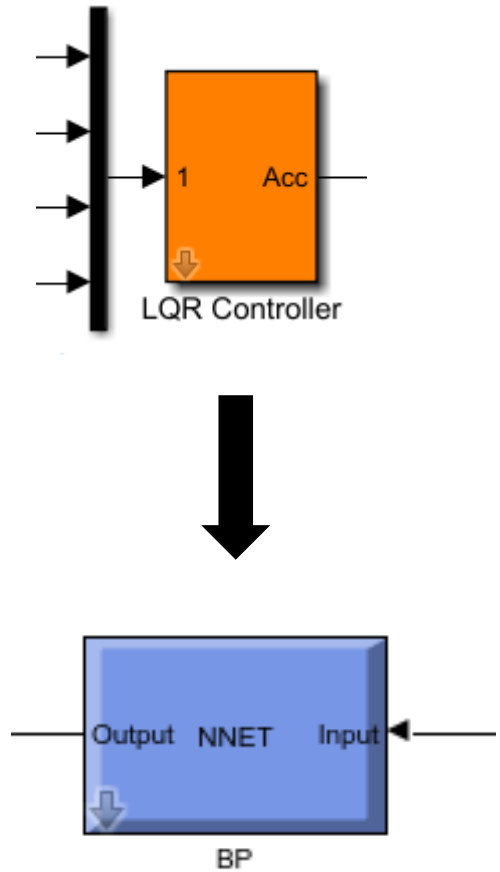


仿真实现 | 整体流程



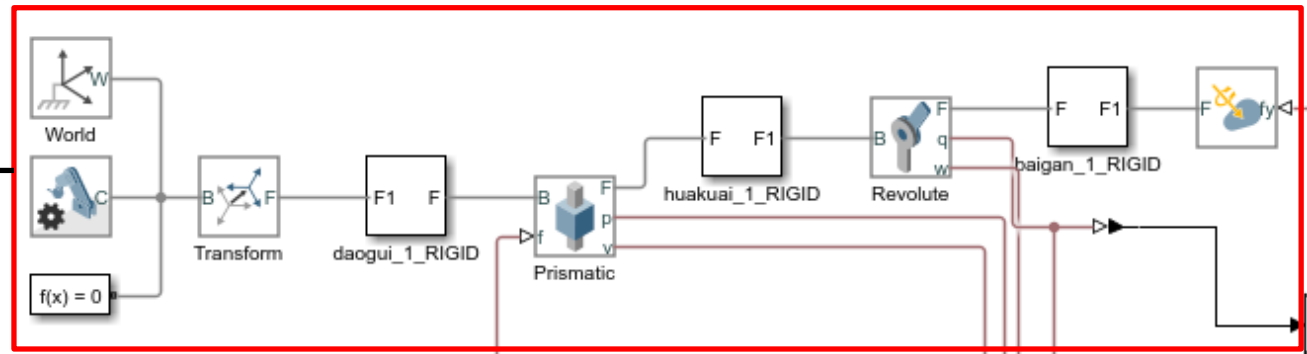
神经网络控制是一个黑箱模型，本质是通过数据训练，拟合出输入--输出数据间的非线性关系，并做到在给定输入的条件下，拟合得出的输出值无限逼近真实输出值，从而取得较好的控制效果

- 信号采集
- 算法训练
- 生成simulink控件
- 替换LQR控制器



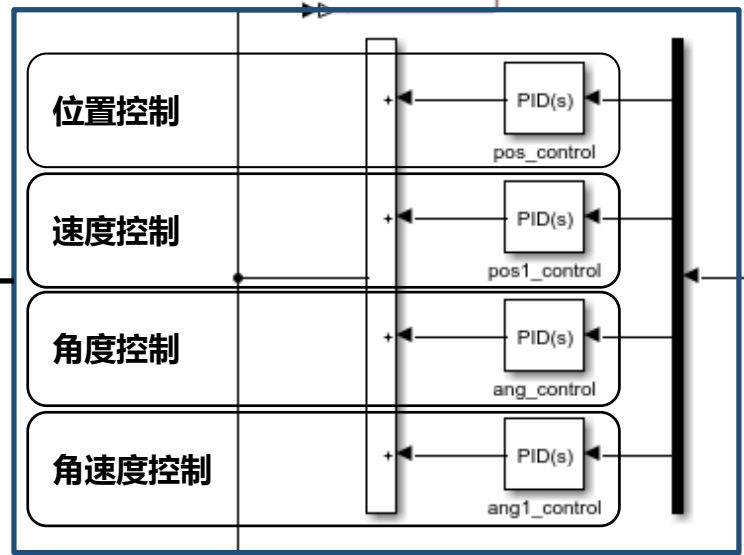
实验结果 | 物理模型 · PID控制 · 仿真文件

模型建模
SimMechanics

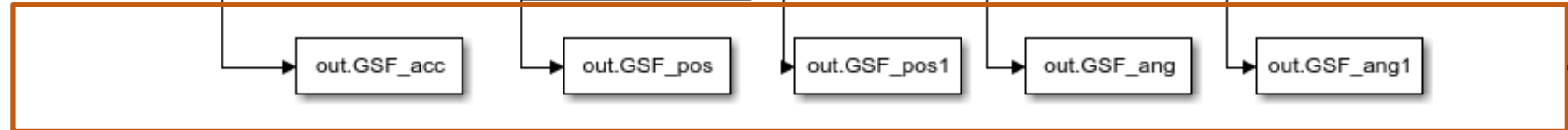


扰动输入

PID控制

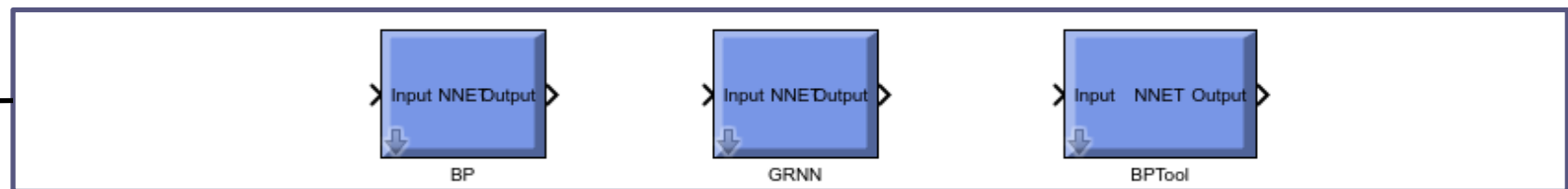


曲线观察

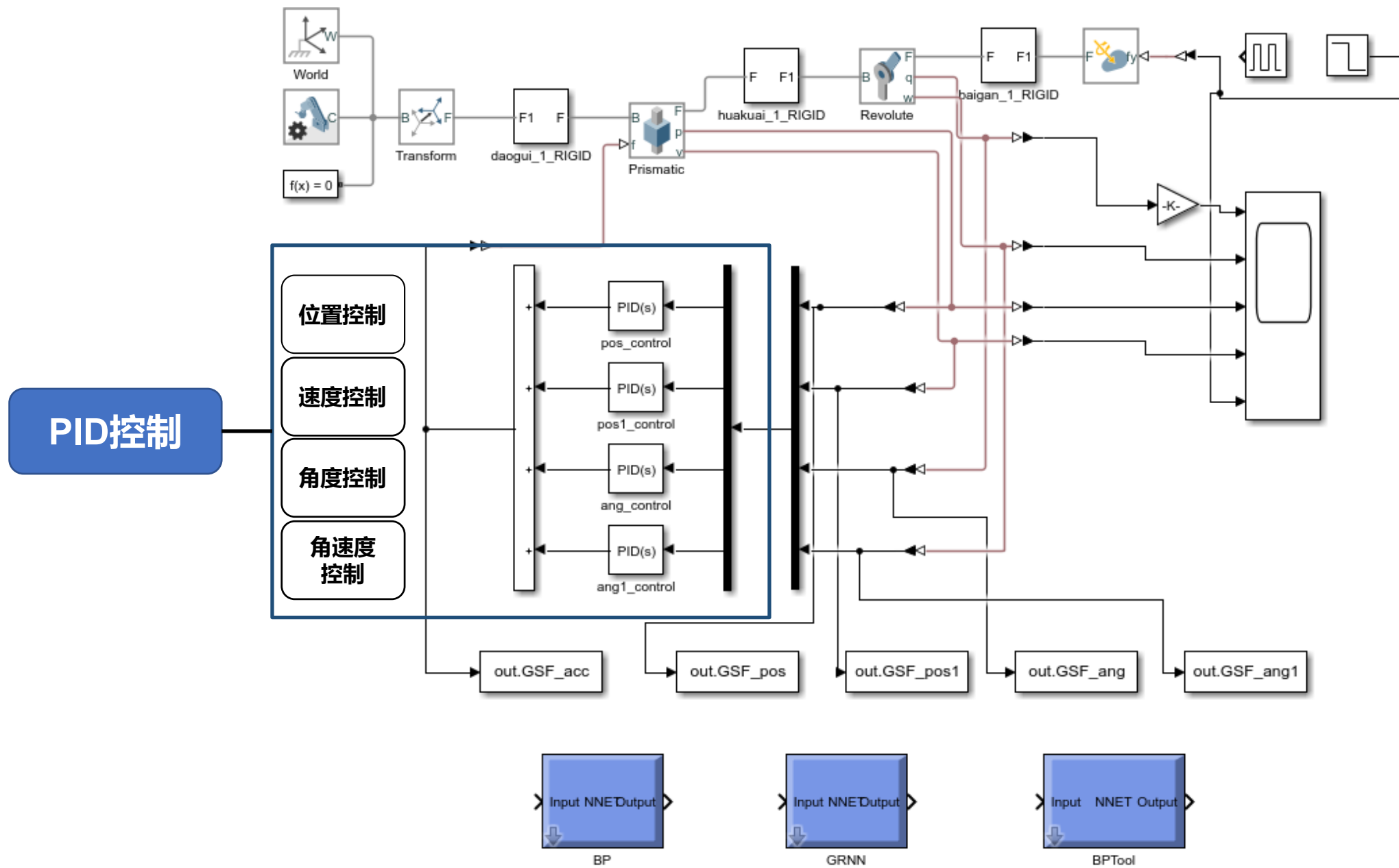


数据采集

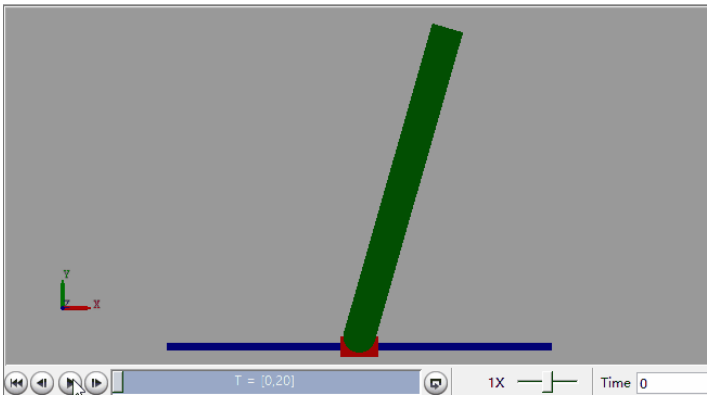
神经网络控制模块



实验结果 | 物理模型 · PID控制 · 仿真文件

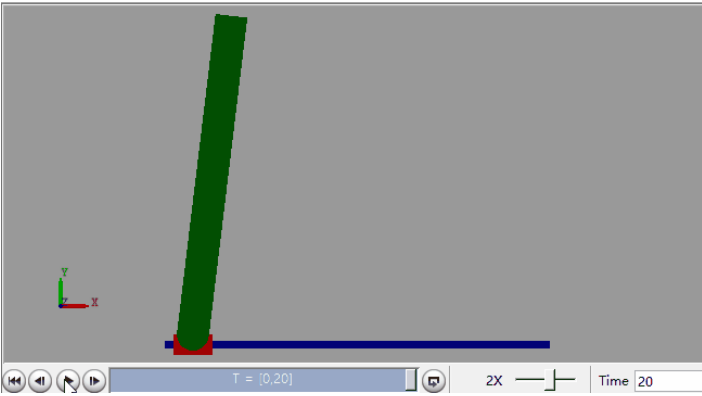


实验结果 | 物理模型 · PID控制 · 仿真结果



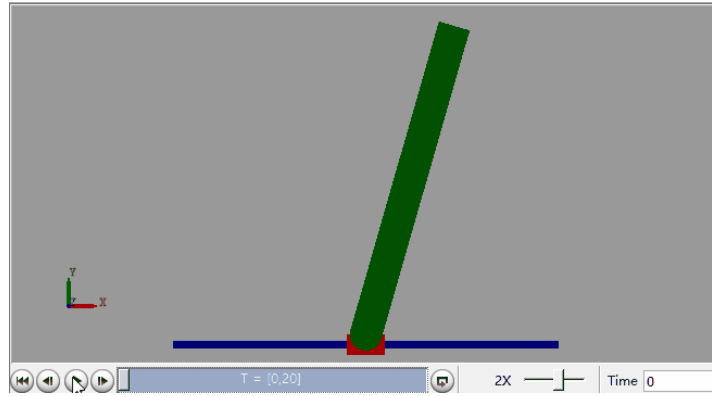
等幅振荡

P_pos = 250	I_pos = 0	D_pos = 0
P_pos1 = 50	I_pos1 = 0	D_pos1 = 0
P_ang = 500	I_ang = 0	D_ang = 0
P_ang1 = 100	I_ang1 = 0	D_ang1 = 0



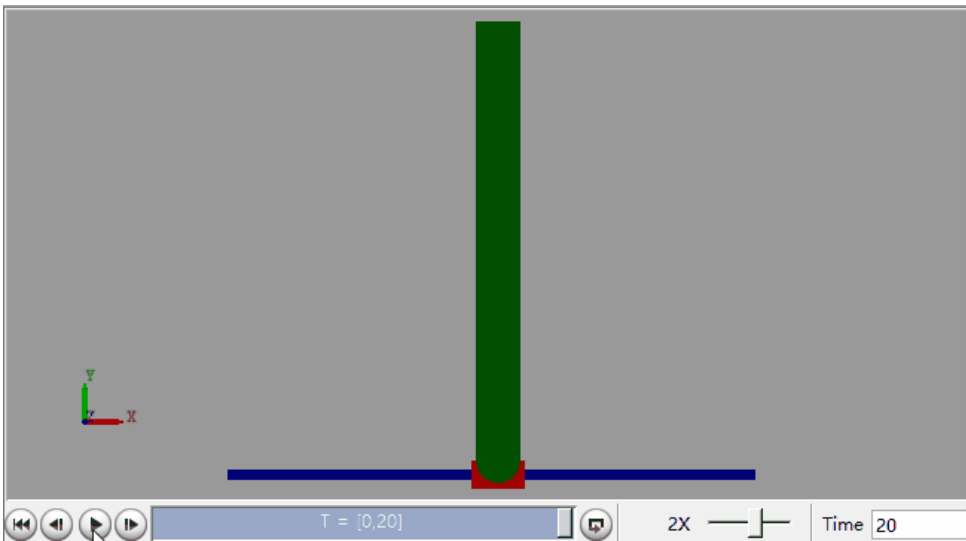
加积分不稳定

P_pos = 250	I_pos = 20	D_pos = 0
P_pos1 = 50	I_pos1 = 0	D_pos1 = 0
P_ang = 500	I_ang = 0	D_ang = 0
P_ang1 = 100	I_ang1 = 0	D_ang1 = 0



稳定但调节时间长

P_pos = 250	I_pos = 20	D_pos = 0
P_pos1 = 50	I_pos1 = 10	D_pos1 = 0
P_ang = 500	I_ang = 100	D_ang = 0
P_ang1 = 100	I_ang1 = 100	D_ang1 = 0

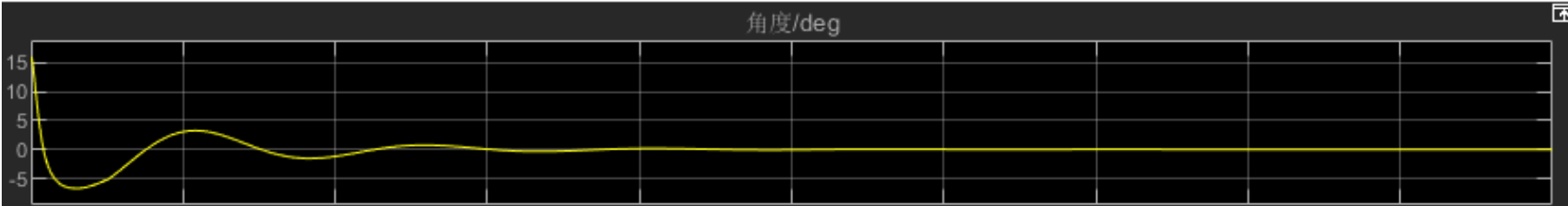


P_pos = 250	I_pos = 20	D_pos = 20
P_pos1 = 50	I_pos1 = 10	D_pos1 = 0.5
P_ang = 500	I_ang = 100	D_ang = 0
P_ang1 = 100	I_ang1 = 100	D_ang1 = 5

稳定且调节时间短

实验结果 | 仿真结果 · PID控制 · 变化曲线

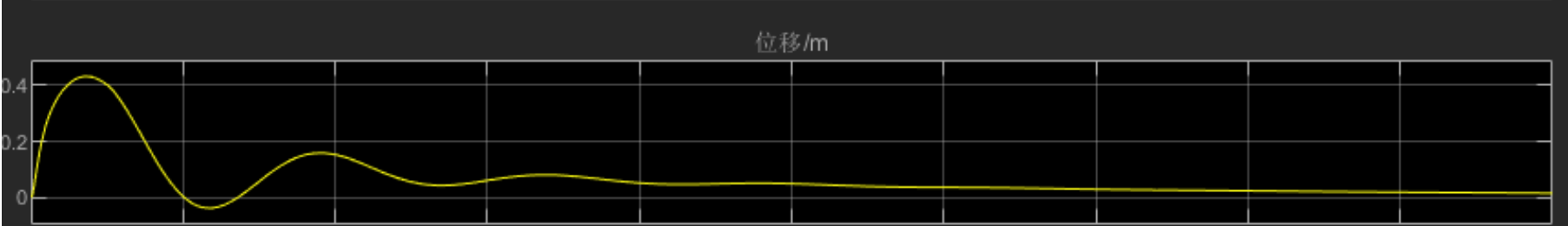
角度变化曲线



角速度变化曲线



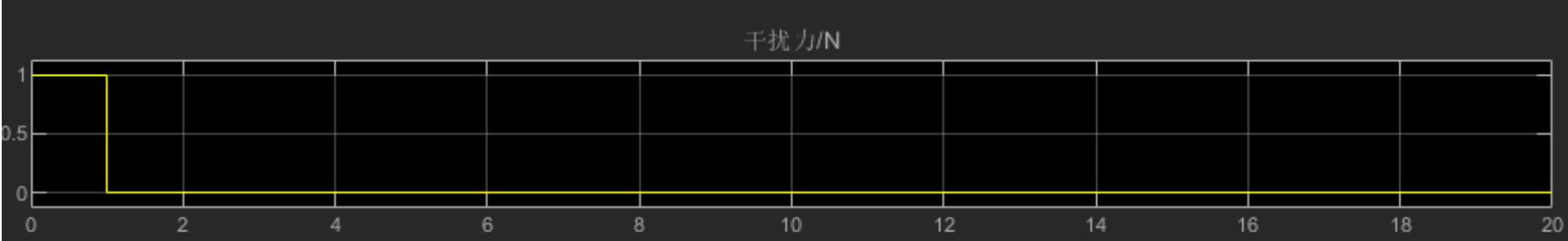
位移变化曲线



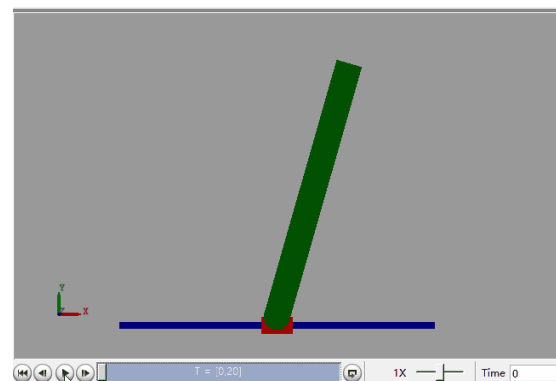
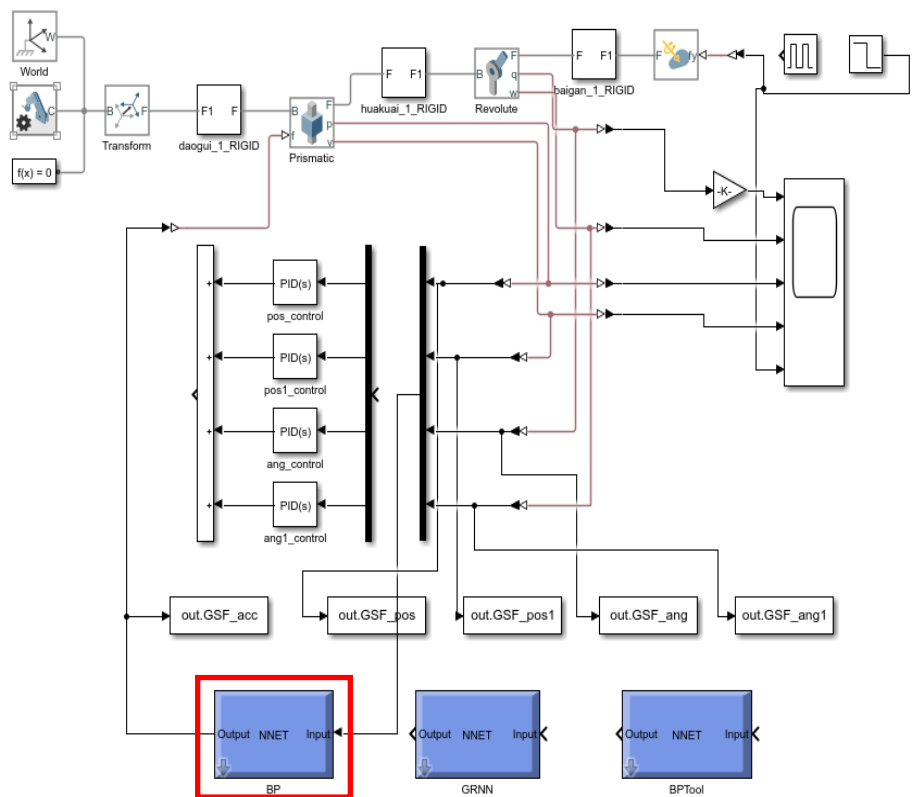
速度变化曲线



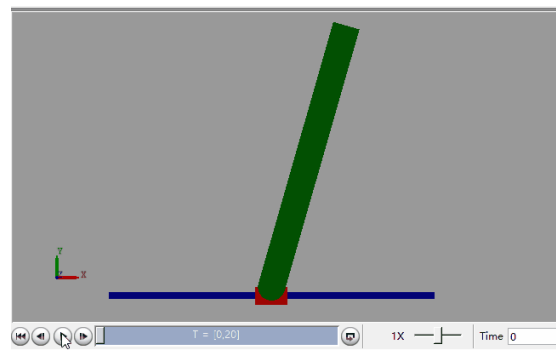
干扰力作用曲线



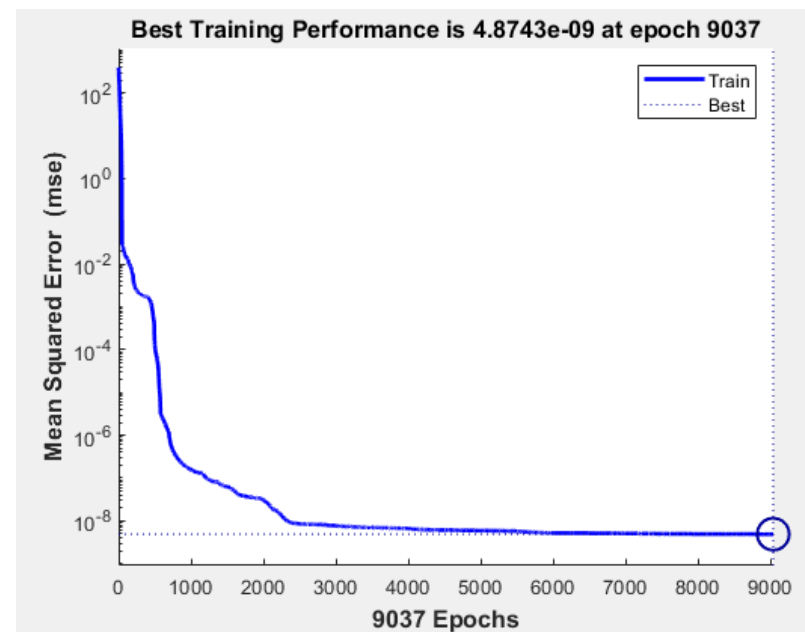
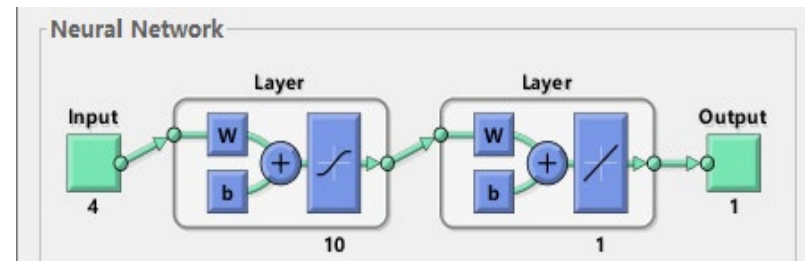
实验结果 | 物理模型 · BP神经网络



BP神经网络工具箱

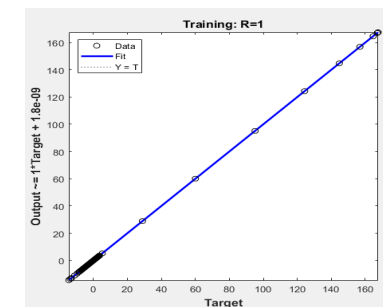
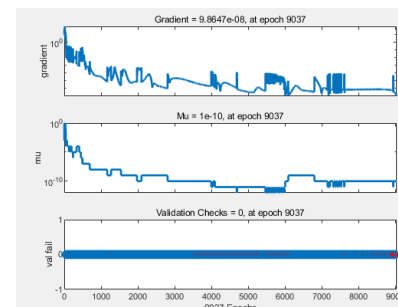


BP神经网络算法

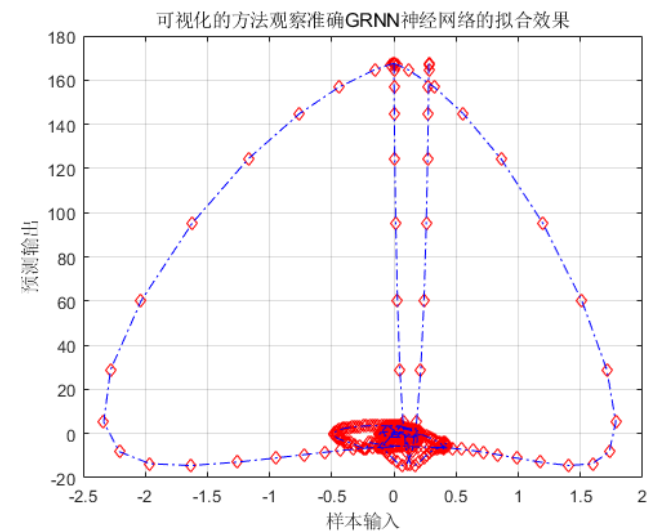
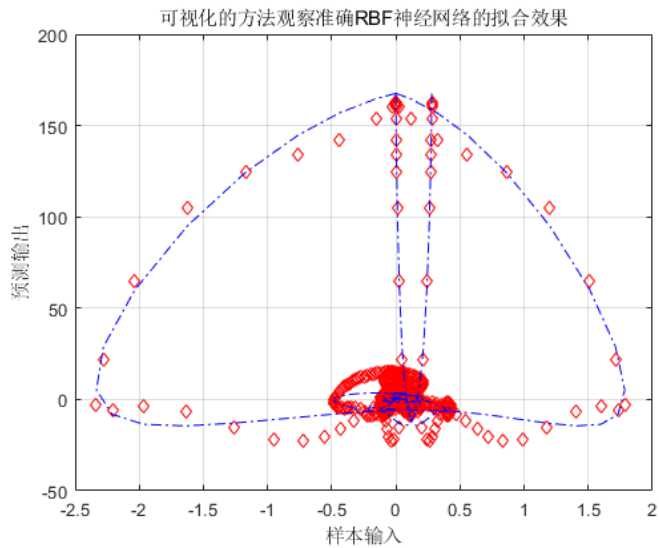


```
input = [GSF_pos, GSF_pos1, GSF_ang, GSF_ang1]'; % 输入数据
output = GSF_acc'; % 输出数据
net=newff(minmax(input),[10,1],{'tansig' 'purelin','trainlm'}); %BP神经网络创建
net.trainParam.epochs = 3000; % 训练次数
[net,tr]=train(net,input,output); % 训练
trainout=sim(net,input); % 仿真输出
gensim(net,-1) % 将构建的神经网络进行封装，生成simulink控制元件
```

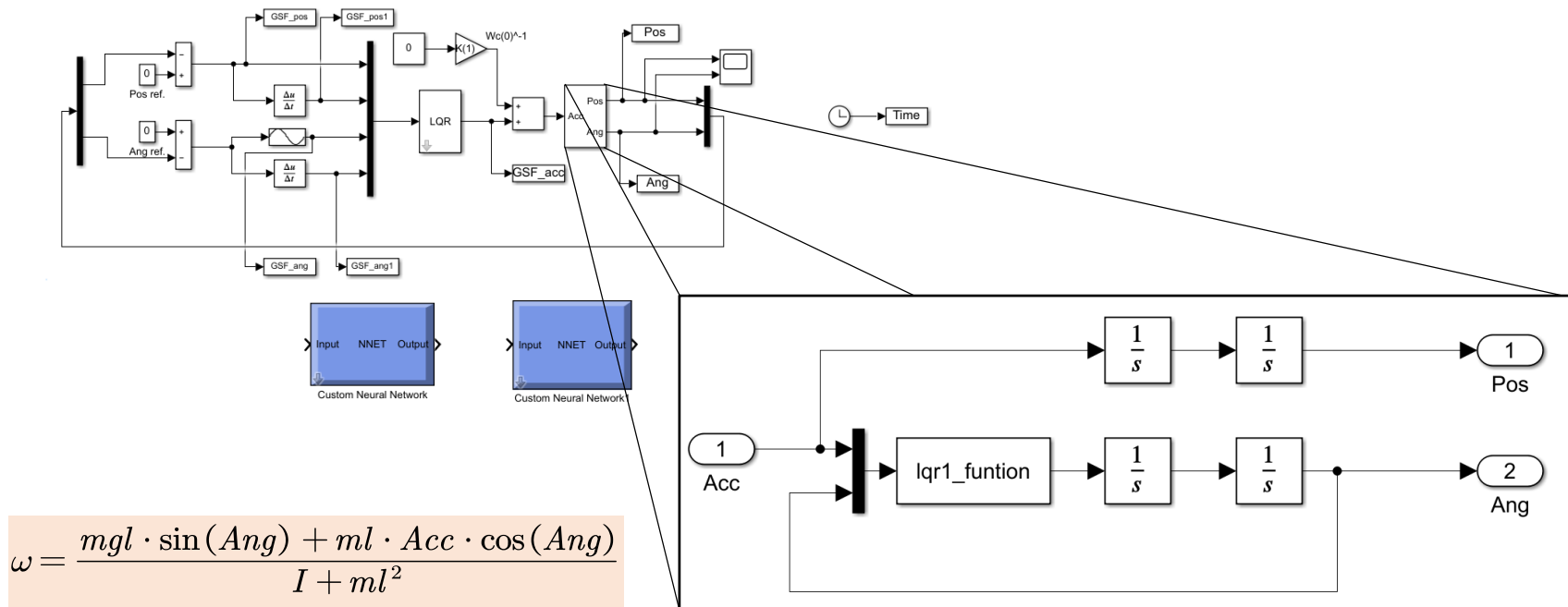
部分代码展示



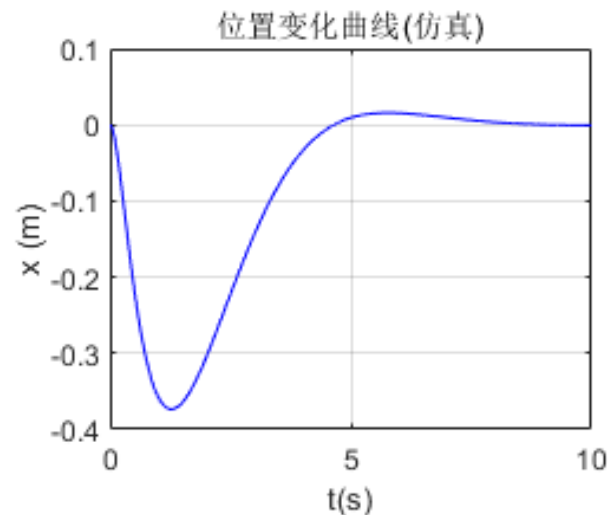
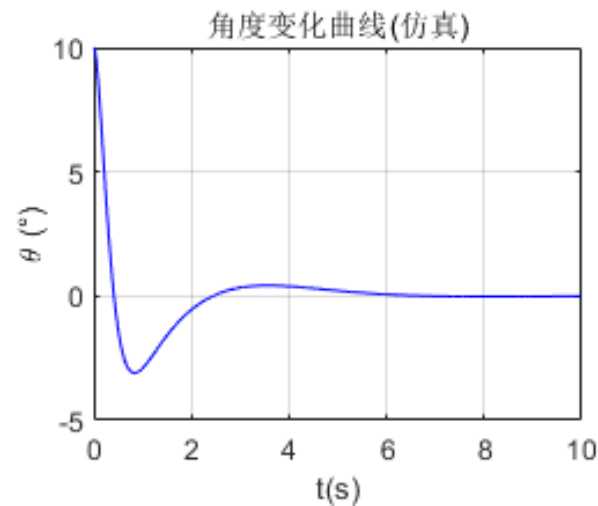
实验结果 | 物理模型 · GRNN神经网络 · RBF神经网络 · 数学模型



物理模型

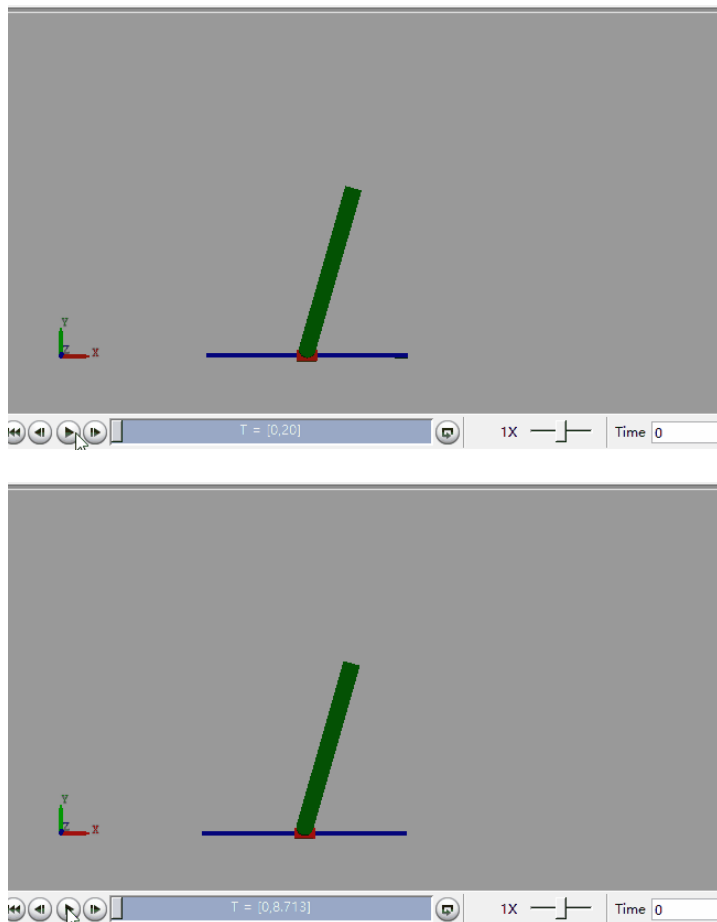


$$\omega = \frac{mgl \cdot \sin(Ang) + ml \cdot Acc \cdot \cos(Ang)}{I + ml^2}$$



数学模型

调参失败



Simulation 10
01:56 PM Elapsed: 2 sec

Error evaluating parameter '[PositionTargetValue](#)' in '[dlb_fangzhen/Prismatic](#)'
Caused by:

- 无法解析名称 smiData.PrismaticJoint.

Component: Simulink | Category: Model error

Error due to multiple causes.

Caused by:

- Error evaluating parameter '[TranslationCartesianOffset](#)' in '[dlb_fangzhen/Transform](#)'
 - 无法解析名称 smiData.RigidTransform.
- Error evaluating parameter '[RotationAngle](#)' in '[dlb_fangzhen/Transform](#)'
 - 无法解析名称 smiData.RigidTransform.
- Error evaluating parameter '[RotationArbitraryAxis](#)' in '[dlb_fangzhen/Transform](#)'
 - 无法解析名称 smiData.RigidTransform.

Component: Simulink | Category: Model error

Error due to multiple causes.

Caused by:

- Error evaluating parameter '[Mass](#)' in '[dlb_fangzhen/baigan 1 RIGID/Solid](#)'
 - 无法解析名称 smiData.Solid.
- Error evaluating parameter '[CenterOfMass](#)' in '[dlb_fangzhen/baigan 1 RIGID/Solid](#)'
 - 无法解析名称 smiData.Solid.
- Error evaluating parameter '[MomentsOfInertia](#)' in '[dlb_fangzhen/baigan 1 RIGID/Solid](#)'
 - 无法解析名称 smiData.Solid.
- Error evaluating parameter '[ProductsOfInertia](#)' in '[dlb_fangzhen/baigan 1 RIGID/Solid](#)'
 - 无法解析名称 smiData.Solid.
- Error evaluating parameter '[GraphicOpacity](#)' in '[dlb_fangzhen/baigan 1 RIGID/Solid](#)'
 - 无法解析名称 smiData.Solid.

Component: Simulink | Category: Model error

Error due to multiple causes.

Caused by:

- Error evaluating parameter '[TranslationCartesianOffset](#)' in '[dlb_fangzhen/baigan 1 RIGID/Transform](#)'

一堆Error

多找方法 · 多去尝试 · 多去沟通



北京化工大学

Beijing University of Chemical Technology

请评委老师批评指正