

机器人智能控制大作业

题目三

姓名：陈帅华

学号：202028014728006

任课老师：易建强、蒲志强、袁如意

目录

- 一. 问题描述..... 3
- 二. 设计思路..... 3
- 三. 仿真结果..... 5
 - 1.不同拓扑结构的 PSO 仿真结果 5
 - a.测试函数的选取 5
 - b.环形拓扑结构..... 6
 - c.四簇形拓扑结构 7
 - d.冯诺依曼拓扑结构..... 8
 - 2.冯诺伊曼拓扑结构的 PSO 算法对 PID 参数的整定 9
- 四. 分析总结..... 11
 - 1.不同拓扑结构优缺点分析..... 11
 - 2.PSO 算法对 PID 参数优化分析..... 11

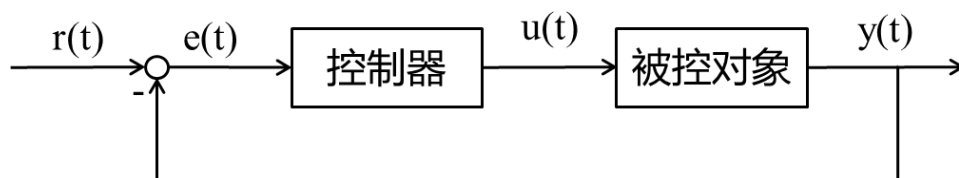
一. 问题描述

粒子群优化(PSO)算法的一个重要改进方向是修改粒子间的网络拓扑结构,即将基本 PSO 算法中的全连接网络结构改为环形、四组合、金字塔、四面体等结构,或借鉴复杂网络思想,修改为具有一定社会意义的随机网络、小世界网络、无标度网络等结构。

(1) 设计至少三种不同的粒子拓扑结构并代码实现,针对一个自拟的基础优化问题(如函数寻优),结合实验分析每种拓扑结构的优缺点、适用范围、参数影响等(分析内容结合情况自行拟定);

(2) 基于上述任一种粒子拓扑结构下的 PSO 算法,对以下控制系统控制器参数进行优化,控制器可采用 PID、模糊控制、自抗扰控制等方法设计,对比分析优化前后的实验效果。其中被控对象数学模型为:

$$G(s) = \frac{s+2}{s^4 + 8s^3 + 4s^2 - s + 0.4}$$



二. 设计思路

对于第一问,在粒子群优化算法中,对粒子群的拓扑结构进行改变,其目的是为了使用粒子的局部最优值来替代全局最优值,以避免粒子群算法陷入局部最优。目前有多种常见的拓扑结构,如全连接结构、环形结构、四簇结构、金字塔结构和四面体结构等。本次作业对环型结构、四簇结构和冯诺依曼结构这三种结构进行了实现。在粒子之间进行通信时,本次作业采用的是基于下标的排序结构,而不是基于距离的结构。

环形结构的特征为所有粒子首尾相连成一个**环状**,每个粒子与其相邻的两个粒子进行信息交换,其属于全连接结构(即每个粒子与其他所有粒子均有信息沟通)的一种极端特殊情况,环形结构如图 1 所示:



图 1 环型结构

四簇结构的特征为将所有粒子分为**四簇**，簇内粒子进行信息交互，簇间的连接粒子实现信息交换，让信息在整个种群中得到共享，其结构如图 2 所示：

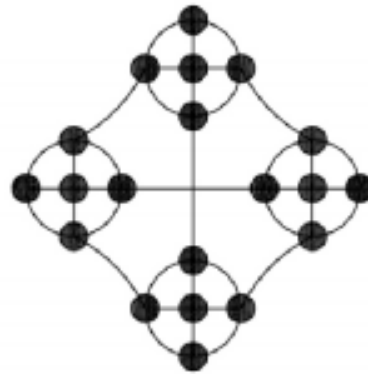


图 2 四簇结构

冯诺依曼的特征为每个粒子**与其相邻的 4 个粒子相连**进行信息交换，构成方形结构，粒子找到的最优解只影响周围的 4 个邻域粒子，从而维持其他粒子的多样性，其结构如图 3 所示。

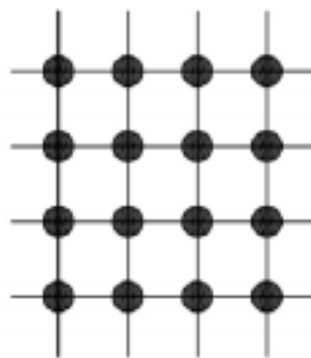


图 3 冯诺依曼结构

对于第二问，我们根据第一问中不同拓扑结构的粒子群优化算法的的实际的表现然后采用表现最好的拓扑结构来对 PID 参数中的比例、积分和微分三分参数进行整定，其中整定的流程如图 4 所示，本次作业使用了 m 文件和 simulink 模型进行了仿真求解。

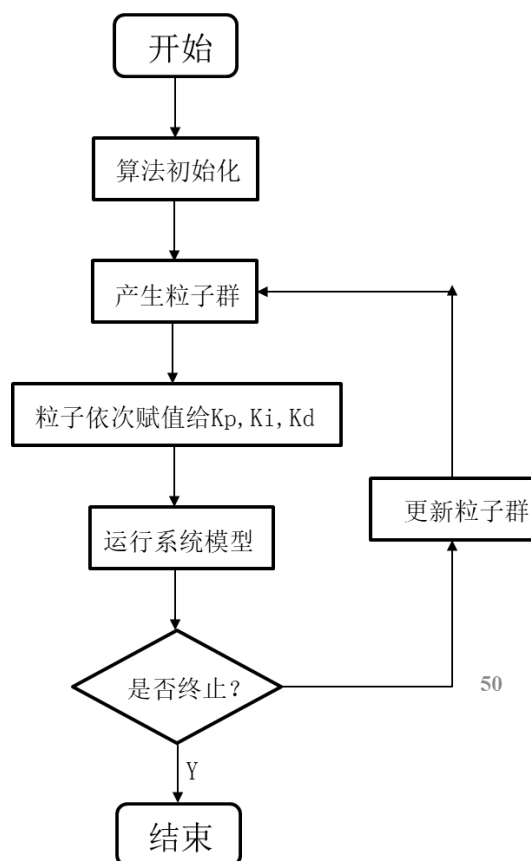


图 4 PSO 优化 PID 中三个参数流程

三. 仿真结果

1.不同拓扑结构的 PSO 仿真结果

a.测试函数的选取

本次作业通过 matlab 实现了三种不同结构的 PSO 算法设计，为了对这三种不同结构的 PSO 算法进行性能测试，我们选取了如下函数作为我们的测试函数：

$$f(x) = x \sin(3x) \cos(2x) - 2x \sin(3x)$$

并且使用 matlab 绘制出其在[0-20]区间上的函数图像，结果如图 5 所示，从这张图中我们可以看出来该函数有有多个局部最大值和局部最小值，比较适合用来对 PSO 进行测试。

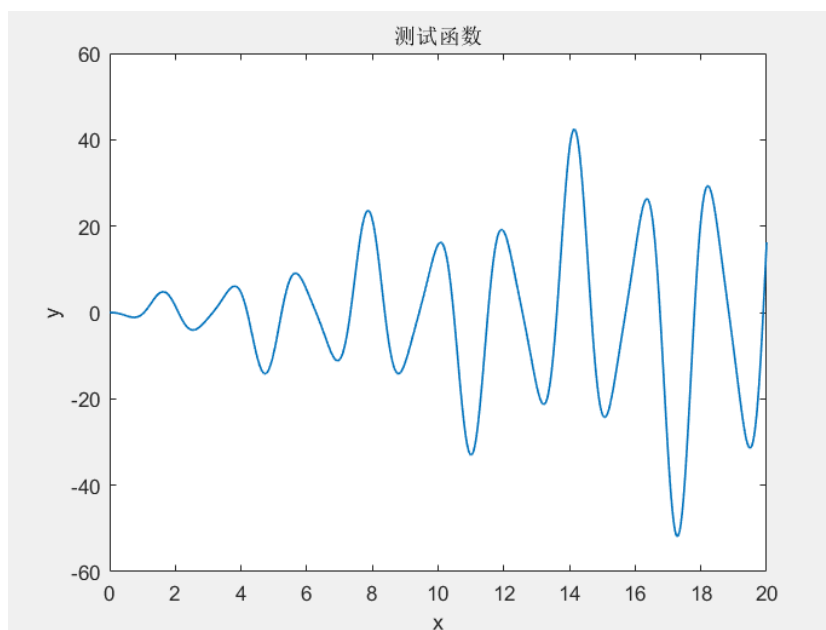


图 5 测试函数图像

b. 环形拓扑结构

在使用环形拓扑结构时，我们可以发现，有一些粒子停留在局部最优解上，结果如图 6 所示：

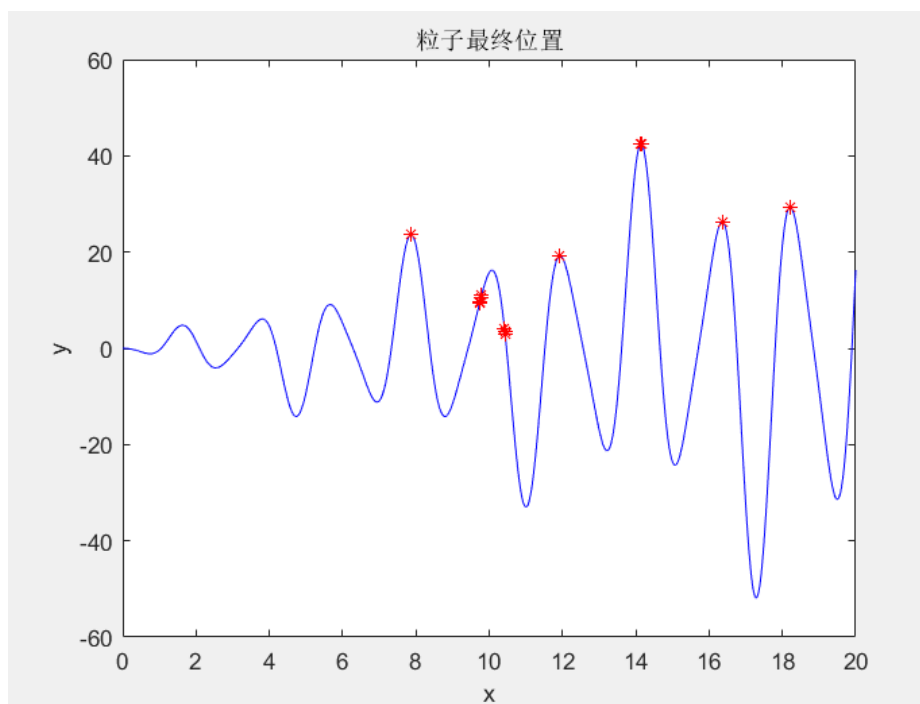


图 6 环形拓扑结构粒子最终位置

图 7 是使用环形拓扑结构时粒子的收敛过程，从这张图中我们可以看出其收敛过程稍有波动，在第十次迭代左右就已经找到了测试函数的最大值。

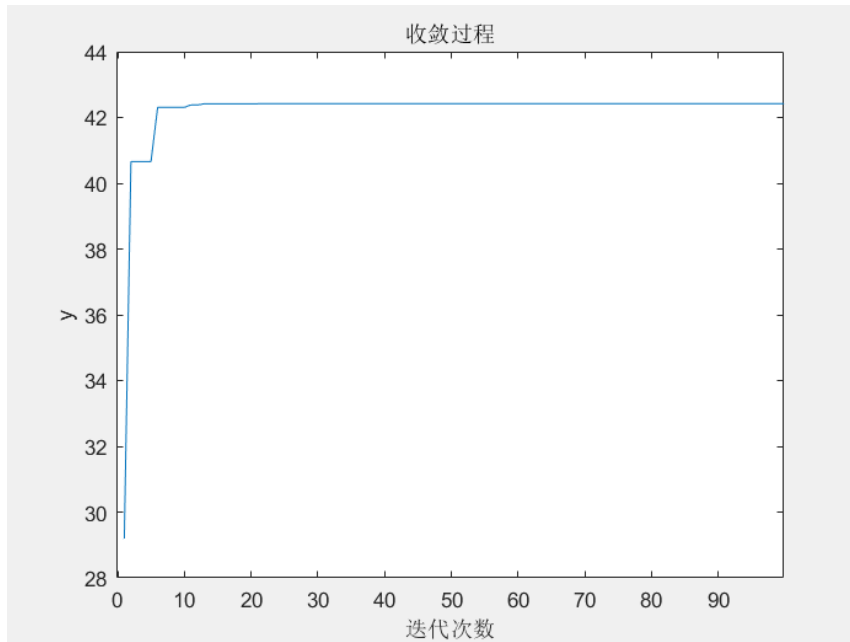


图 7 环形拓扑结构粒子收敛过程

c. 四簇形拓扑结构

在使用四簇形拓扑结构实现粒子群算法时，我们可以发现，有一些粒子仍处于迭代过程中，但相比于环形拓扑结构，处于局部最优解的粒子数目有了减少，其结果如图 8 所示：

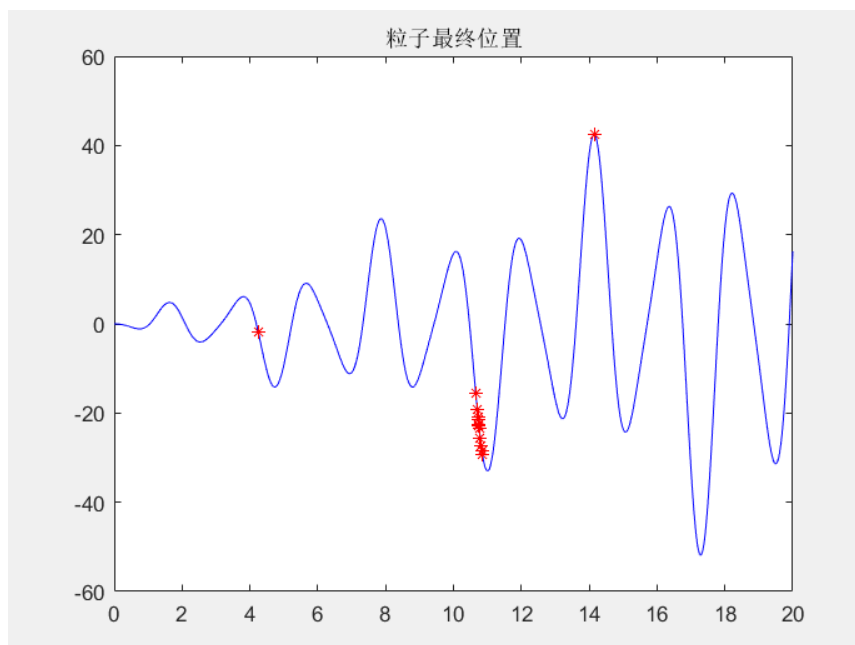


图 8 四簇形拓扑结构粒子最终位置

图 9 是使用四簇形拓扑结构时粒子的收敛过程，从这张图中我们可以看出相比于环形拓扑结构，其收敛过程更加迅速，并且在第十次迭代前就已经找到了测试函数的最大值。

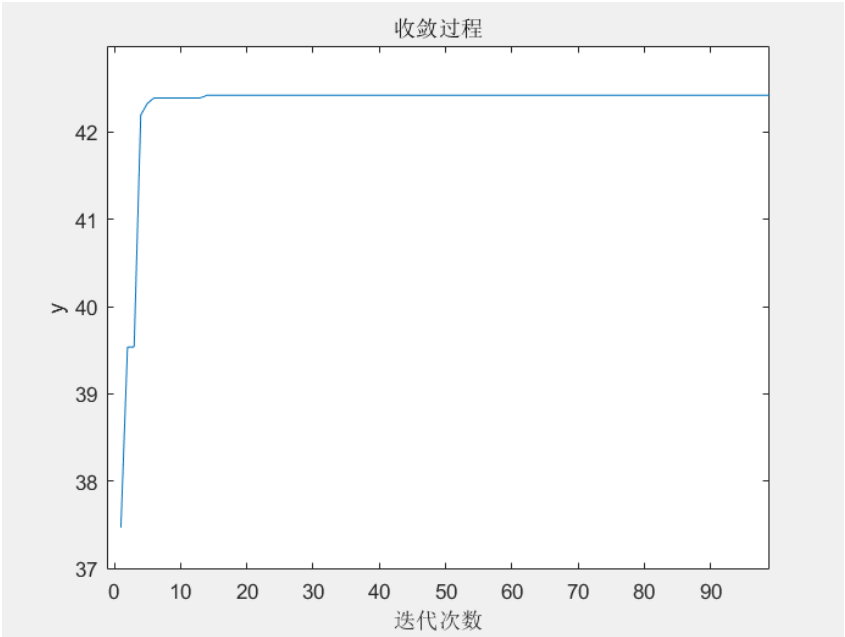


图 9 四簇形拓扑结构粒子收敛过程

d.冯诺依曼拓扑结构

在使用冯诺依曼拓扑结构实现粒子群算法时，我们可以发现所有粒子都收敛到了测试函数的极大值上，其结果如图 10 所示：

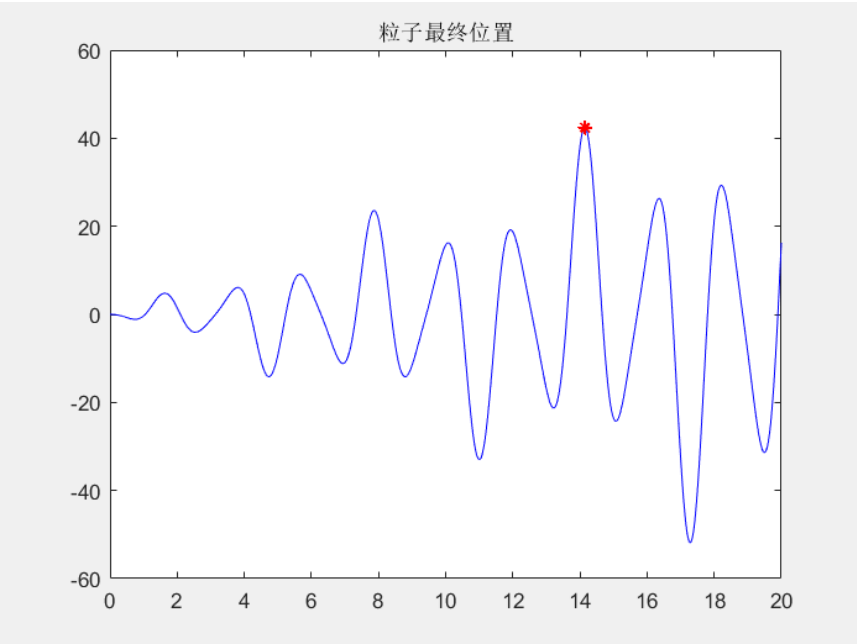


图 10 冯诺依曼拓扑结构粒子最终位置

图 11 是使用冯诺依曼拓扑结构实现粒子群算法时粒子的收敛过程，从这张图中我们可以看出相比于前两种结构而言，其收敛过程更加迅速，非常快速的就找到了函数的极大值。

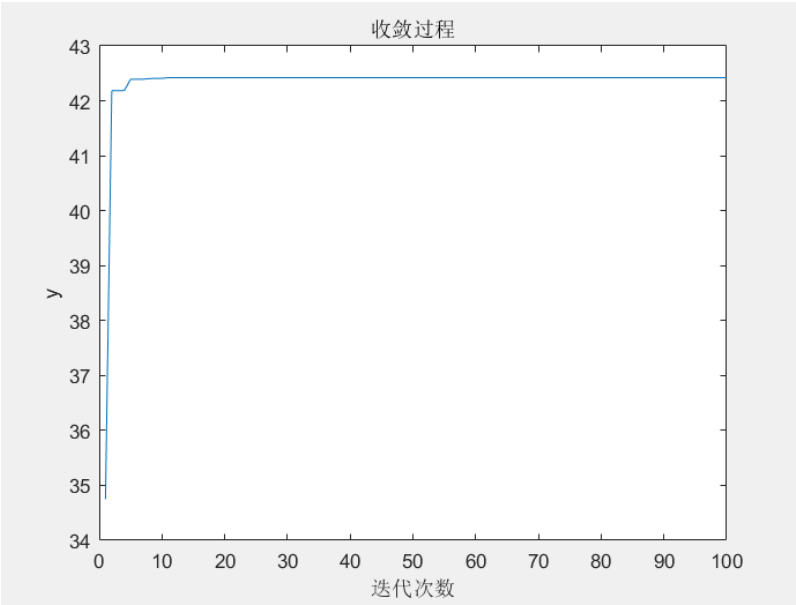


图 11 冯诺依曼拓扑结构粒子收敛过程

2.冯诺伊曼拓扑结构的 PSO 算法对 PID 参数的整定

在第一问的实现分析中，冯诺依曼拓扑结构表现出的性能最优，因此在这一问中，我们使用冯诺依曼拓扑结构的 PSO 算法对 PID 的参数进行了整定。

在控制系统中，基本的 PID 控制回路如下图所示：

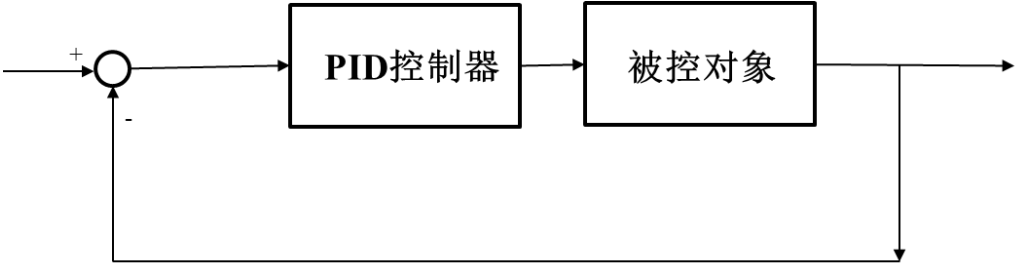


图 12 PID 控制回路

而其中 PID 控制器的形式如下：

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_t^0 e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

在本次作业中，我们的目标就是使用基于冯诺依曼拓扑结构实现的粒子群优化算法来最 PID 控制器中的 K_p , K_i 和 K_d 三个参数来进行优化，以便获得良好的控制效果。

本次作业中的被控对象为 $G(s) = \frac{s+2}{s^4+8s^3+4s^2-s+0.4}$ ，在阶跃输入下，系统的响应如图 13 所示，从这张图中可以看出，在没有控制器的作用下，系统是发散的。

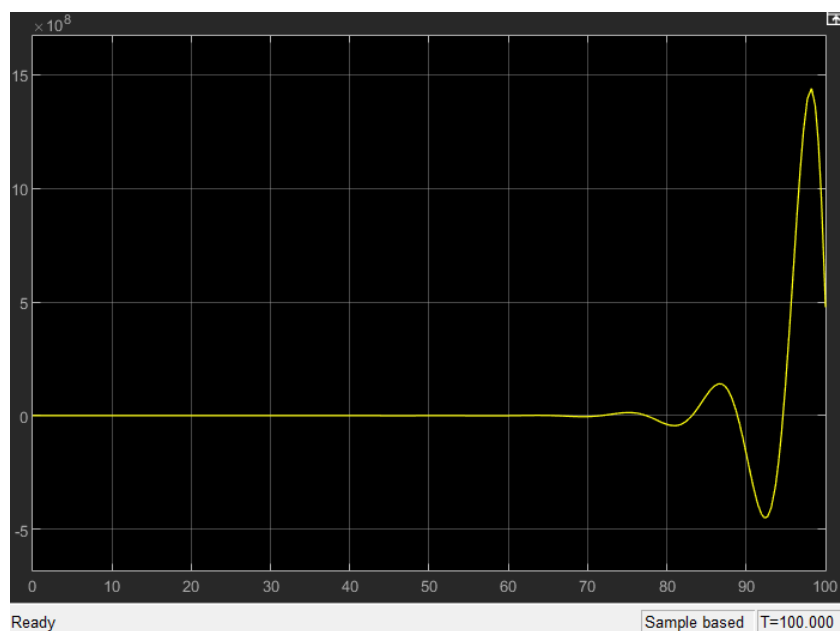


图 13 无控制器时系统响应

首先使用 matlab 中的 simulink 对本次作业中使用到的模型进行了搭建，具体如图 14 所示。

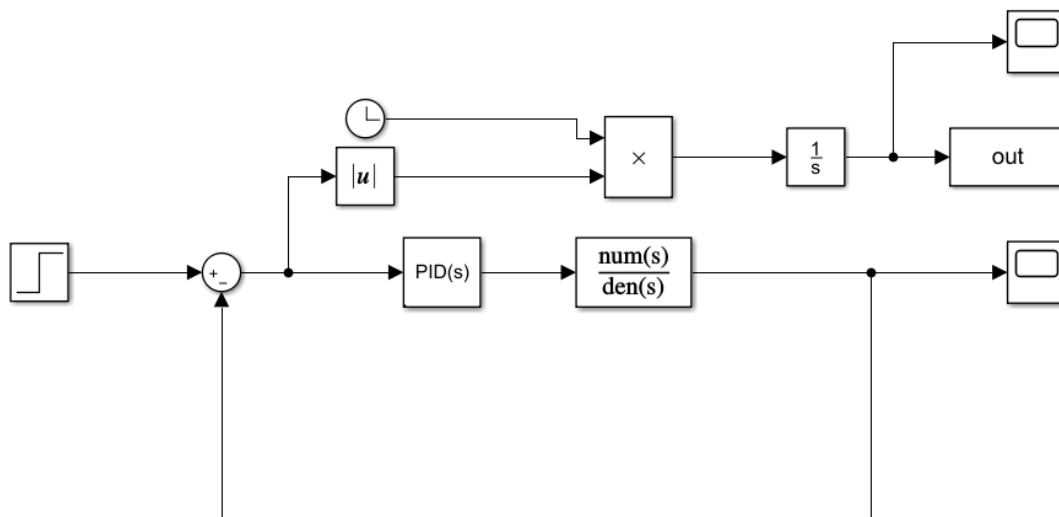


图 14 simulink 模型

在本次作业中，我们设置粒子数 N 为 64，对 K_p ， K_i 和 K_d 三个参数进行优化，最终得到了 K_p 为 40， K_i 为 0.1， K_d 为 30，此时系统的响应输出如图 15 所示。

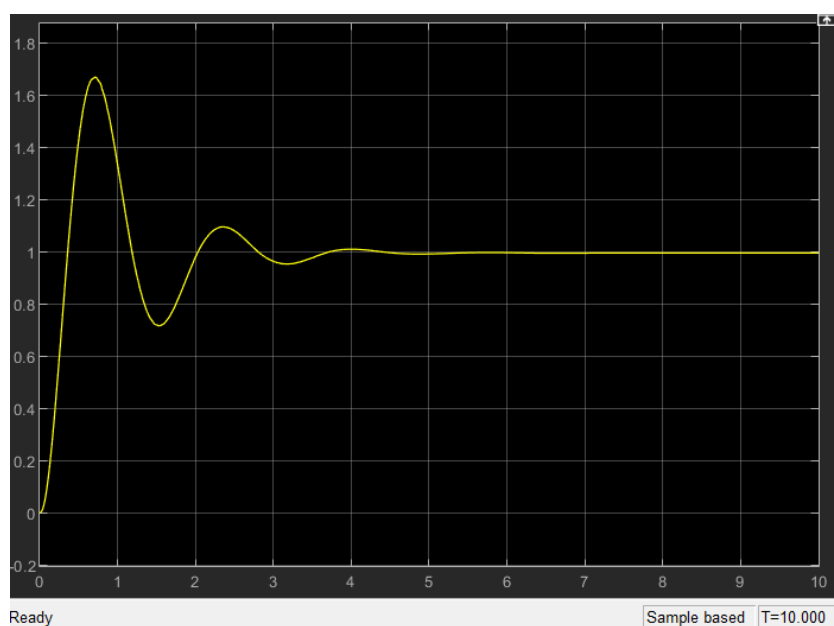


图 15 PSO 对参数优化后系统的响应输出

从图 15 中我们可以看出，PID 控制器在很短的时间内就对系统实现了控制，准确性、快速性都得到了满足。

四．分析总结

1.不同拓扑结构优缺点分析

从第三部分中对不同拓扑结构实现的粒子群算法而言，通过分析对比得到的图像我们可以发现环形结构由于只和其临近的粒子通信，其也可以找到最优解，但是由于可用的信息较少，因而其收敛速度较慢；而四簇结构通过簇内粒子的信息交换以及簇间连接粒子的信息交换让信息在整个种群内得到了共享，其结构灵活性更强，收敛速度也较快；对于冯诺依曼结构，粒子找到的最优解只影响周围的四个邻域粒子，从而维持了其他粒子的多样性，可以避免系统早熟产生局部最优解。

2.PSO 算法对 PID 参数优化分析

在第二问中，本次作业使用基于冯诺依曼拓扑结构的 PSO 算法对 PID 控制器中的三个参数进行了优化，使用最终求解得出的三个参数对被控对象实现了较为良好的控制，满足了准确性、快速性和稳定性的要求。