

国家精品课程/ 国家精品资源共享课程/ 国家级精品教材

国家级十一(二)五规划教材/ 教育部自动化专业教学指导委员会牵头规划系列教材

控制系统仿真与CAD

第十章 智能控制器设计方法

全局最优化计算

Computation in Global Optimization



主讲：薛定宇教授



进化算法及其在最优化问题中的应用

- 传统最优化方法的最大问题——局部最优
- 遗传算法
 - 遗传算法的基本概念与主要MATLAB工具
 - 遗传算法在求解最优化问题中的应用举例
 - 遗传算法在有约束最优化问题中的应用
- 其他全局优化算法
 - 粒子群优化、模式搜索方法、模拟退火方法
- 求取精确的全局最优解



遗传算法的基本概念

- 遗传算法是基于进化论，在计算机上模拟生命进化机制而发展起来的一门新技术
 - 它根据适者生存、优胜劣汰等自然进化规则搜索和计算问题的解，并行的搜索方法
 - 美国 Michigan 大学 John Holland 1975 年提出
 - 更可能获得全局最优解
 - 本节主要介绍遗传算法的MATLAB求解函数
 - 对一般使用者而言不必了解细节与数学基础
 - 直接调用函数就可以求解问题



简单遗传算法的一般步骤

1. 选择 n 个个体构成初始种群 P_0 , 求出各个个体的函数值 , P_0 可以随机生成
2. 设置代数为 $i = 1$, 即设置其为第一代。
3. 计算选择函数的值 , 所谓选择即通过概率的形式从种群中选择若干个个体的方式
4. 通过染色体个体基因的复制、交叉、变异等创造新的个体 , 构成新的种群 P_{i+1}
5. $i = i + 1$, 若终止条件不满足 , 则继续进化



遗传算法和传统优化算法比较

- 传统最优化算法从初始点开始搜索，遗传算法从种群（若干个初值）开始进行并行搜索
- 遗传算法并不依赖于目标函数导数信息或其他辅助信息来进行最优解搜索
- 遗传算法采用的是概率型规则而不是确定性规则，所以每次得出的结果不一定完全相同，有时甚至可能会有较大的差异。



遗传算法的MATLAB函数

- MATLAB 的全局优化工具箱
 - 早期版本称为遗传算法与直接搜索工具箱
 - 大量其他寻优算法，包括粒子群优化算法、模拟退火算法与模式搜索算法等
 - 一些方法号称能够求解有约束最优化问题
- 英国Sheffield大学的遗传算法工具箱
- MATLAB Central 下有大量工具箱
 - GAOT：最早的遗传算法最优化工具箱



遗传算法求解函数

➤ GAOT 工具箱中的函数调用格式

➤ 最大值计算、目标函数的不同格式

$[a, b, c] = \text{gaopt}(\text{bound}, \text{fun})$

➤ MATLAB 全局优化工具箱

$[x, f, \text{flag}, \text{out}] = \text{ga}(\text{fun}, n, \text{opts})$

➤ 打开遗传算法程序界面：`gatool()`



粒子群优化算法与求解

- 粒子群优化算法是一种进化算法，该算法是受生物界鸟群觅食的启发而提出的搜索食物
- 假设某个区域内有一个全局最优点，和位于随机初始位置的粒子
 - 每一个粒子有到目前为止自己的个体最优值 $p_{i,b}$
 - 整个粒子群有到目前为止群体的最优值 g_b



粒子群算法的求解函数

➤ MATLAB 2014b新的粒子群优化函数

$[x, f_m, \text{key}] = \text{particleswarm}(\text{problem}),$

$[x, f_m, \text{key}] = \text{particleswarm}(f, n, x_m, x_M, \text{opts})$

➤ 无约束最优化问题

➤ 不能求解真正的有约束问题

➤ 算法的效率比其他已知粒子群优化算法函数高

➤ 早期版本可以搜索其他现成工具

➤ 例如，PSOt工具箱



全局优化工具箱其他函数

➤ 无约束优化问题求解

➤ 模拟退火方法 `simulannealbnd`

$$x = \text{simulannealbnd}(f, x_0, x_m, x_M, opts)$$
$$x = \text{simulannealbnd}(problem)$$

➤ 有约束最优化问题

➤ 模式搜索方法 `patternsearch`

$$[x, f_{\text{opt}}, \text{flag}, c] = \text{patternsearch}(problem)$$
$$[x, f_{\text{opt}}, \text{flag}, c] = \text{patternsearch}(fun, x_0, A, B, A_{\text{eq}}, B_{\text{eq}}, \dots, x_m, x_M, CFun, OPT, p_1, p_2, \dots)$$



例10-11 最优化问题求解

➤ 改进的Rastrigin函数

$$f(x_1, x_2) = 20 + (x_1/30 - 1)^2 + (x_2/20 - 1)^2 \\ - 10[\cos(x_1/30 - 1)\pi + \cos(x_2/20 - 1)\pi],$$

➤ 目标函数曲面



```
>> f=@(x,y)20+(x/30-1).^2+(y/20-1).^2-...  
      10*(cos(pi*(x/30-1))+cos(pi*(y/20-1)));  
ezsurf(f,[-100,100])
```



全局最优求解

➤ 目标函数描述



```
>> f=@(x)20+(x(1)/30-1)^2+(x(2)/20-1)^2-...  
      10*(cos(pi*(x(1)/30-1))+cos(pi*(x(2)/20-1)));
```

➤ 遗传算法与粒子群方法



```
>> x=ga(f,2), [x g]=particleswarm(f,2)
```

➤ 模拟退火方法与模式搜索



```
>> x0=8*rand(2,1); x=patternsearch(f,x0)  
      [x g]=simulannealbnd(f,x0)
```



例10-16 用全局优化算法取代常规算法

➤ 不稳定受控对象的控制器设计

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



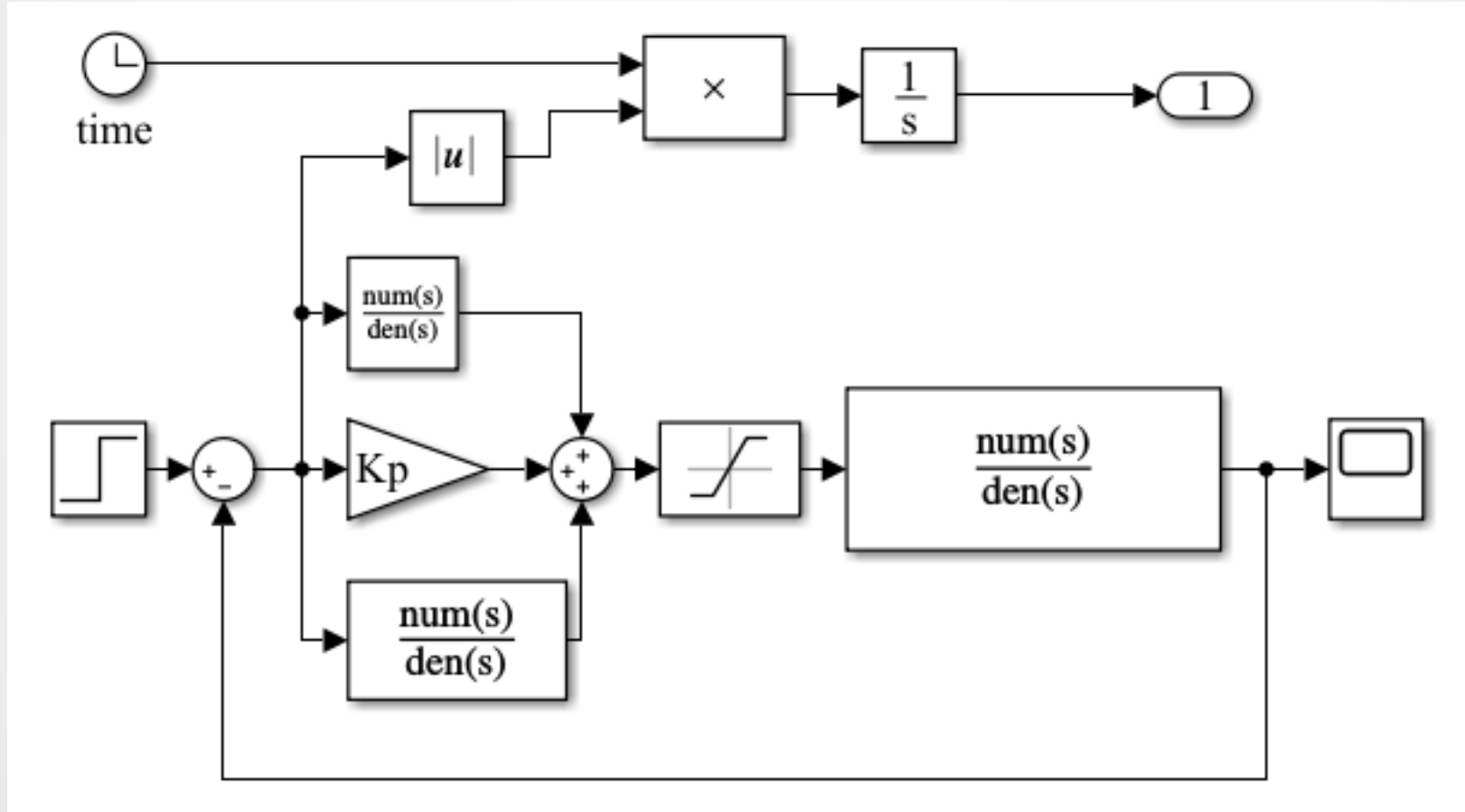
```
>> num=[1 2]; den=[1,8,4,-1,0.4];
```

- 传统寻优方法不易找到一个稳定的初值
- 可以绘制Simulink模型，用OCD直接求解
- 也可以写出目标函数，然后给出全局搜索命令直接寻优



Simulink模型

➤ 控制系统模型与目标函数计算 c10munst_a.slx





全局优化算法求解最优化问题

➤ 改写目标函数

```
function y=c10funun_1(x)
assignin('base','Kp',x(1)); assignin('base','Kd',x(2));
assignin('base','Ki',x(3));
[t_time,a,y_out]=sim('c10munst_a',[0,10]); y=y_out(end,1);
```

➤ 用粒子群优化算法求解

```
>> x1=particleswarm('c10funun_1',3), c10funun_1(x1(1:3))
```

➤ 直接搜索方法寻优

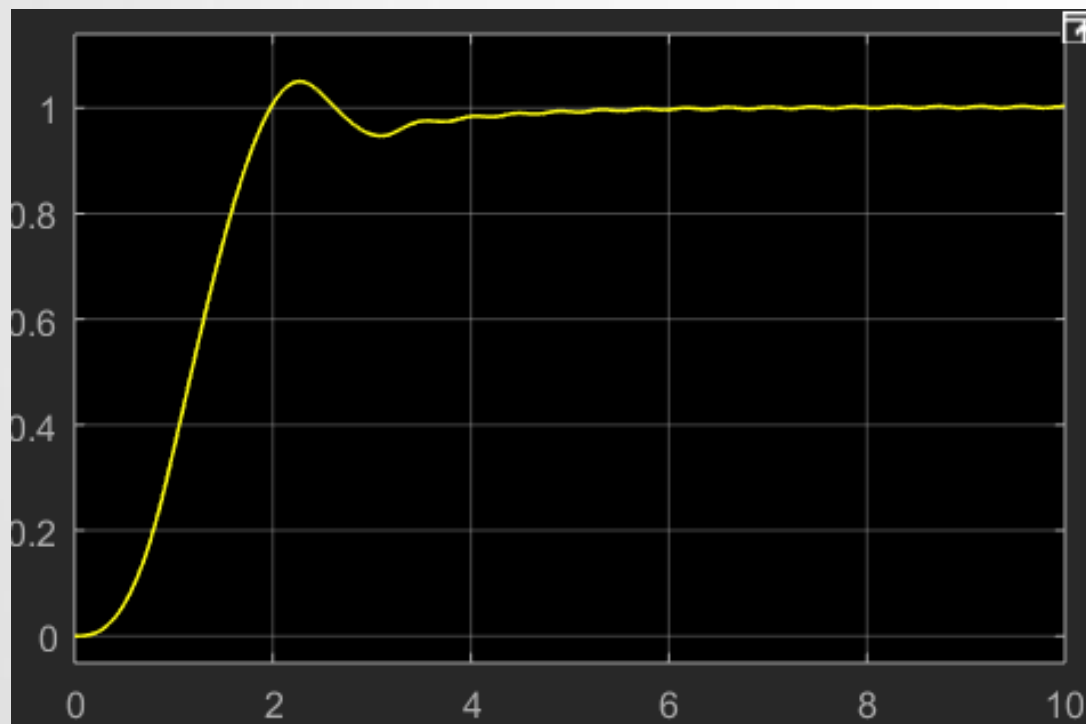
```
>> x2=patternsearch(@c10funun_1,rand(3,1))
```



两种方法比较

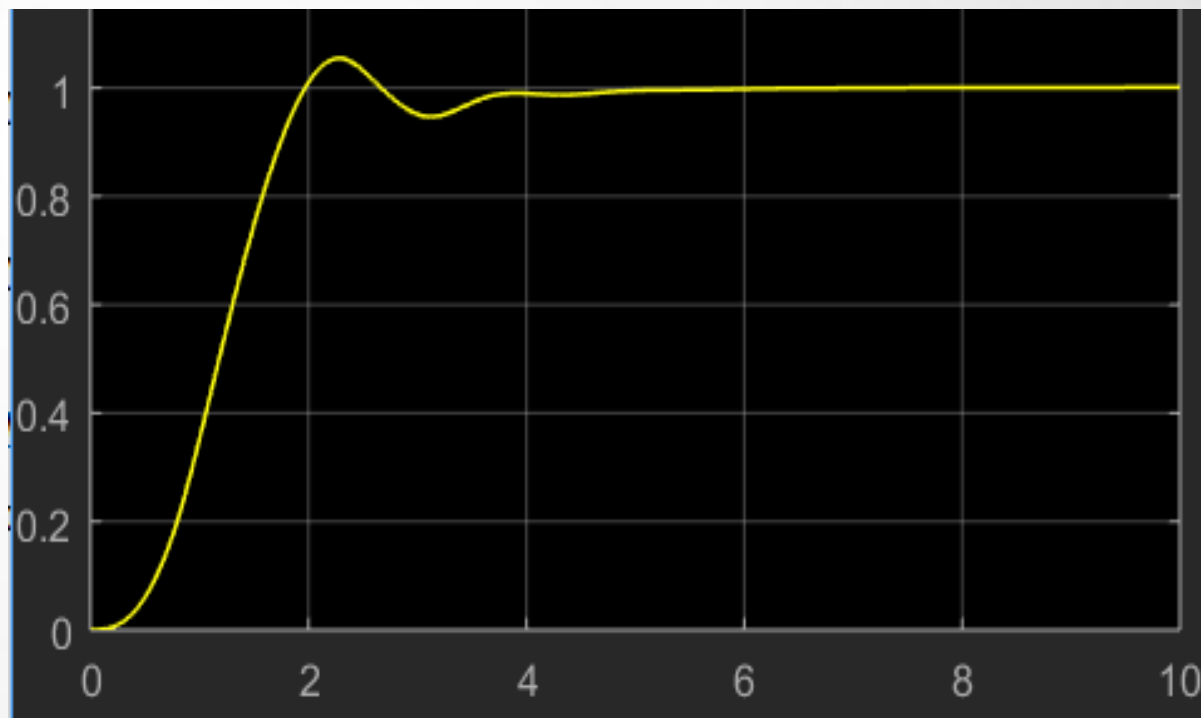
➤ 粒子群算法 1.0837

➤ $K_p=10982$, $K_i=12698$, $K_d=30.7379$;



模式搜索算法 1.0428

$K_p=36.0111$, $K_i=41.6803$, $K_d=0.1911$





将全局优化函数嵌入OCD与OptimPID

Optimal Control Design...

Select a Simulink model

Specify Variables to be optimized

Initial guess for optimization

Lower bounds for the variables

Upper bounds for the variables

Simulation terminate time 1

☐ Using fixed step simulation?

Which Toolbox to use

MATLAB only

Optimization Toolbox

Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox

GA Optimization Toolbox

Show Model

Create File

View File

Optimize

Save File

Cancel

Help

Clear Trash

PID Controller Optimizer

Plant model name mod_1

Terminate Time 10

Controller Type

P Controller

PI Controller

PD Controller

PID Controller

I Controller

☒ Continuous

☐ Discrete-time

Actuator Saturation

Lower Limit -inf

Upper Limit inf

Optimization Algorithm

MATLAB Optimization

Genetic Algorithm

GAOT Toolbox

Particle Swarm Optimization

☒ Loop in optimization Tol= 1e-3

Create File

Refresh

Show Plant

Simulation

Show File

Tutorial

Optimize

Exit

☐ Maximum overshoot at 3 %

Optimization Criterion

ITAE Criterion

ISE Criterion

IAE Criterion

Controller Parameters

Tuned Controller

Lower Bounds

Upper Bounds

Staircase Waveform

t vector [0]

y vector [1]

Simulation Range 100 ☐ Hold



智能优化算法小结

- MATLAB全局优化工具箱
 - 遗传算法、粒子群算法、模式搜索、模拟退火算法
- 测试问题的求解 —— 更可能得到全局最优解
- 在控制器最优设计中的应用
 - 不稳定受控对象的最优PID设计
- 可以将算法嵌入OCD与OptimPID

