

报名号：# 1994

2008 年 第一届“数学中国杯”

数学建模网络挑战赛

承 诺 书

我们仔细阅读了首届“数学中国杯”数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们允许数学中国网站(www.madio.net)公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

我们的参赛报名号为：# 1994

参赛队员（签名）：

队员 1：叶茂锹

队员 2：赵勇

队员 3：姚丹

参赛队教练员（签名）： 叶茂锹

参赛队伍组别：研究生组

报名号： # 1994

2008 年 第一届“数学中国杯”

数学建模网络挑战赛

编 号 专 用 页

参赛队伍的参赛号码（请各个参赛队提前填写好）：#1994

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

报名号：#1994

2008 年 第一届“数学中国杯” 数学建模网络挑战赛

题 目 自适应温控系统

关 键 词 自适应温控系统 模糊控制 遗传算法 仿真

摘 要：

冷库温度的精确数学模型难以建立, 而且由于冷库温控系统具有大时滞、非线性的特点, 传统 PID 控制得到的精度不高。传统的模糊控制器对复杂的控制问题具有很强的控制能力。但是模糊控制器的参数难以确定, 其隶属度函数和模糊规则的确定多依赖开发人员的经验和专家的知识, 本文提出利用遗传算法的空间寻优能力, 对隶属度函数的参数和模糊规则的后件进行综合编码优化。

本文通过对冷库温度控制问题的研究建立了其数学模型, 针对实际冷库温度控制中存在的不足, 作者采用了基于遗传算法的冷库模糊控制算法, 利用遗传算法对冷库模糊控制系统的控制规则和隶属度函数进行优化, 将模糊控制器的隶属度函数参数和模糊规则的后件作为待优解进行编码, 通过选择、交叉、变异操作得到隶属度函数和模糊规则的最优解, 从而设计了模糊控制器。通过 matlab 仿真建立了该模糊控制系统的数学模型, 该算法能够使模糊控制系统的控制品质得到较大的改善和提高, 本文最后给出了流程图和程序清单。

参赛队号 #1994

所选题目 A 题

参赛密码 _____
(由组委会填写)

基于遗传算法的冷库模糊控制仿真研究

引言

A 题 自适应温控系统

温度控制在现实生活中有广泛的应用，最典型的就昰空调，冷库的温度控制。而作为一个保存材料的冷库，必须持续地保持制冷系统的运转，否则温度就会升高。除了主温控设备外还有一套备用制冷系统，其用途是在常规制冷系统失效，温度显著超过警戒值的时候自动启动，让冷库中的温度恢复到规定值。

冷库的规定温度是 180K，备用制冷系统自动启动的触发温度是 230K。而由于冷库的具体环境以及存放物品多少的不同，事先我们并不清楚备用制冷系统以多大功率工作可以使温度恢复到规定温度。同时在冷库中有一个温度传感器，只能由它给备用制冷系统传递温度信息。但是由于温控系统的时滞性，温度的变化滞后于系统的调节，因此如不考虑时滞性就可能造成温控的失败。

冷库温度的精确数学模型难以建立，而且由于冷库温控系统具有大时滞、非线性的特点，传统 PID 控制得到的精度不高。传统的模糊控制器对复杂的控制问题具有很强的控制能力。但是模糊控制器的参数难以确定，其隶属度函数和模糊规则的确定多依赖开发人员的经验和专家的知识，本文提出利用遗传算法的空间寻优能力，对隶属度函数的参数和模糊规则的后件进行综合编码优化。

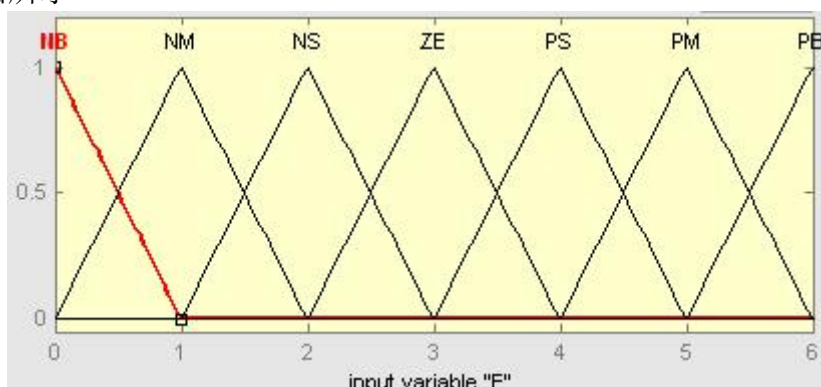
本文通过对冷库温度控制问题的研究建立了其数学模型，针对实际冷库温度控制中存在的不足，作者采用了基于遗传算法的冷库模糊控制算法，利用遗传算法对冷库模糊控制系统的控制规则和隶属度函数进行优化，将模糊控制器的隶属度函数参数和模糊规则的后件作为待优解进行编码，通过选择、交叉、变异操作得到隶属度函数和模糊规则的最优解，从而设计了模糊控制器。

该算法可使控制系统能够根据库温变化，连续、动态、实时地进行调解，有较高鲁棒性。本文用 Matlab 软件对基于遗传算法的冷库模糊控制系统进行仿真，为冷库模糊控制系统的优化设计提供了一定的依据。

1、基于遗传算法的模糊控制系统设计

1.1 模糊控制输入输出参数的确定

温度及温度变化率是冷库制冷系统中的 2 个重要的参数，因此采用二维的遗传模糊控制器结构，设定输入变量：温度偏差 E 及温度偏差变化率 ΔE 。输出控制量：频率 U 。考虑到算法的简便性及可行性，本文选择最简单也是最常用的等腰三角形隶属度函数作为研究对象，即输入变量 E 、 ΔE ，输出控制量 U ，均采用交迭、对称、不均匀分布的三角形隶属度函数。如图所示



报名号：#1994

图1 输入变量E的隶属度函数

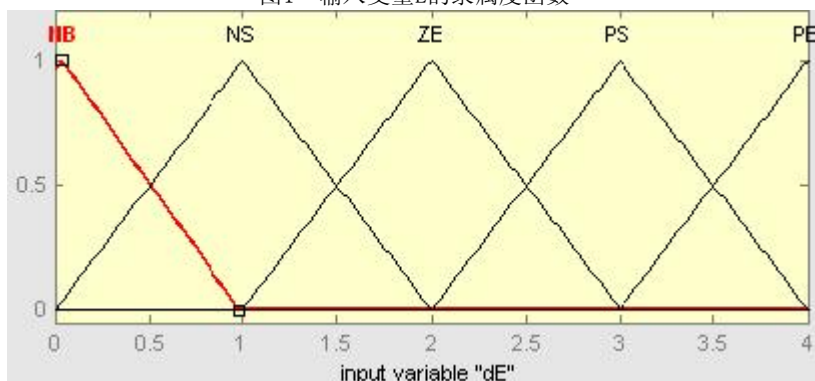


图2 输入变量ΔE的隶属度函数

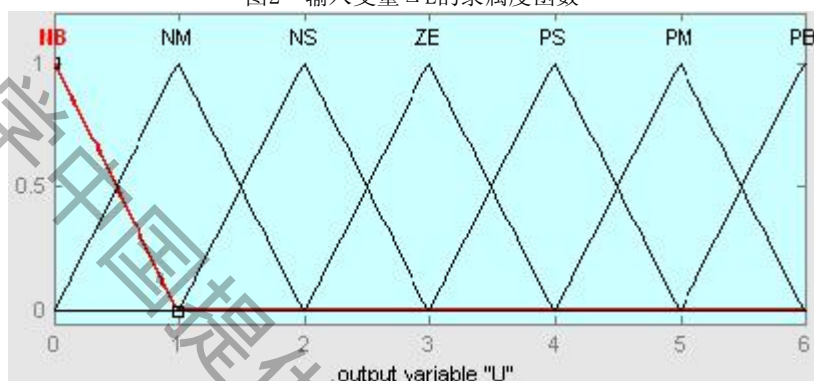


图3 输出变量U的隶属度函数

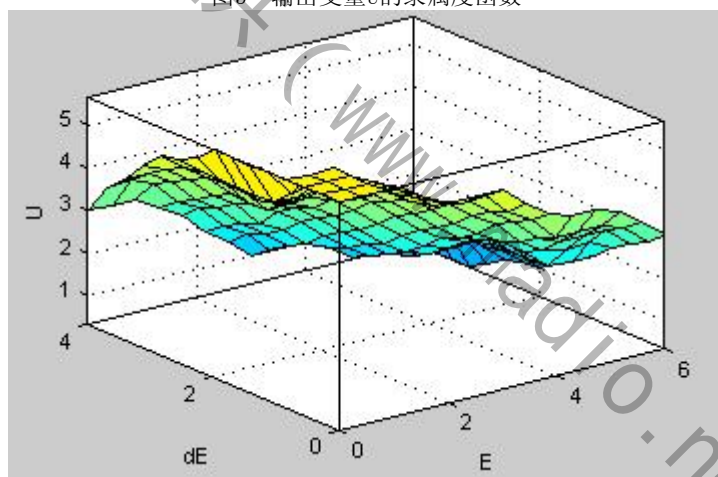


图4 模糊控制器输出曲面

1.2 遗传算法对隶属度函数的优化

1.2.1 适应度函数的确定

设计的目标函数 J 由 J_1 、 J_2 、 J_3 组成, 则:

$$J_1 = t \sum_{k=1}^n |T_a(k) - T_s(k)|$$

$$J_2 = t \sum_{k=1}^n f(k)$$

$$J_3 = \sum_{k=1}^n |f(k) - f(k-1)|$$

$$J = W_1 J_1 + W_2 J_2 + W_3 J_3$$

报名号： # 1994

式中： $T_a(k)$ 为冷库温度的变化， $T_s(k)$ 为设定的温度值， $f(k)$ 为制冷系统电机的供电频率， t 为采样间隔， W_1 、 W_2 、 W_3 分别为 J_1 、 J_2 、 J_3 的加权值， J 为目标函数， J_1 为温度控制的控制性能， J_2 为制冷系统的能耗， J_3 为制冷系统电机供电频率的变化量之和(这一指标反映了系统工作的稳定程度)。将取最小值的目标函数转化成如下适应度函数：

$$f(x) = \begin{cases} C_{\max} - J, & J < C_{\max} \\ 0, & J \geq C_{\max} \end{cases}$$

式中： C_{\max} 表示一个适当的相对较大的数

1.2.2 隶属度函数编码的确定

本文采用实数编码的方法，与传统二进制编码相比，其计算量小，精度高。考虑模糊思维的特点及实际微控制器的运算速度，约定对于语言变量

$E = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$ 分别以0~6数字代表本身的含义；

$\Delta E = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$ 分别用0~4数字代表本身的含义；

$U = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$ 分别以0~6数字代表本身的含义。

1.3 模糊控制规则及其编码的确定

针对冷库的特点，选取控制量变化的原则是：当偏差大或较大时，选择控制量的大小以尽快消除偏差为主；而当偏差较小时，选择控制量要注意防止超调，以使系统稳定。因此，模糊控制规则实质上是将以上实际控制过程中的经验加以总结而得出的一条条模糊条件语句的集合，通常以表格的形式给出，对于双输入单输出控制系统的模糊推理，一般采用“IF $A = A_i$ ，AND $B = B_i$ ，THEN $C = C_i$ ”来描述，模糊控制规则的数字表示如表1所示。

表1. 模糊控制规则的数字表

	0	1	2	3	4
0	6	6	6	5	3
1	6	6	4	4	3
2	5	5	4	3	2
3	5	4	3	2	1
4	4	3	2	1	1
5	4	2	2	2	1
6	3	2	1	0	0

其中，第一行，第一列，分别表示 ΔE ， E ，其他的列和行的数据表示 U 。

为保持同隶属度函数的编码一致，本文控制规则的编码也选为实数编码。将隶属度函数和控制规则的编码联合起来形成一维染色体形式的码串，该编码代表了一个模糊逻辑控制系统的寻优参数。3个模糊变量 E ， ΔE ， U 的联合编码为7+5+7=19位长度的实数码串，系统共有7×5=35条规则，但下述3条规则始终固定：

IF $E = NB$ AND $\Delta E = NB$ THEN $U = PB$

报名号： # 1994

IF E = ZE AND $\Delta E = ZE$ THEN U = ZEIF E = PB AND $\Delta E = PB$ THEN U = NB

控制规则的编码为 $35 - 3 = 32$ 位实数编码, 故总的编码长度为 $19 + 32 = 51$ 位。码串的分解按7、5、7、32位进行断开解码。考虑到二进制的染色体编码的话, 若取精度为 $\varepsilon=0.5$, 则 $\frac{6-0}{2^{m_i}-1} \leq 0.5$, 则 $m_i=4$, 所以 $L1=19*4$, 考虑到用三位二进制数可以表示U所以第二部分编码为 $L2=32*3$, 所以个体的二进制编码长度为 $L1+L2=115$. 在遗传优化过程中, 其模糊控制规则在计算机中的表述如表2所示。

表2、模糊规则表

	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	PB	PB	PB	PM	ZE
NM	PB	PB	PS	PS	ZE
NS	PM	PM	PS	ZE	NS
ZE	PM	PS	ZE	NS	NM
PS	PS	ZE	NS	NM	NM
PM	PS	NS	NS	NS	NM
PB	ZE	NS	NM	NB	NB

其中, 第一行, 第一列, 分别表示 ΔE , E, 其他的列和行的数据表示U

1.4 控制系统软件设计

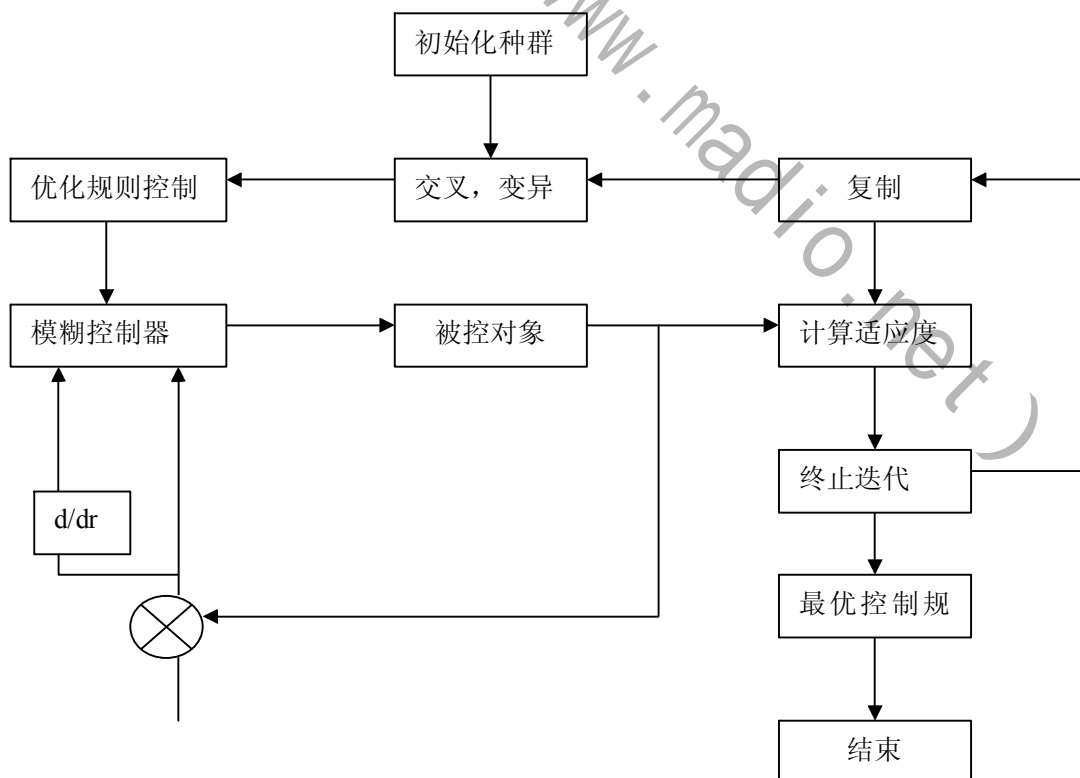


图 5、模糊控制系统流程图

遗传算法的基本实现步骤如下：

- (1) 编码。确定每个参数的大致范围, 进行编码。
- (2) 产生群体。随机产生 n 个个体形成一个初始群体 $P(t)$, 该群体代表优化问题的一些可能解的集合。通过择优劣汰, 最后选择出优秀的群体和个体, 满足目标函数的优化要求。
- (3) 评价。每次迭代完毕, 计算出每个个体或解的适应度值, 作为此个体有用程度的评价, 也是以后进行遗传操作的依据。
- (4) 选择。按一定概率从群体 $P(t)$ 中选出 m 个个体作为双亲用于繁殖后代, 产生新的个体加入下一代群体 $P(t+1)$ 中, 一般个体的选择概率与个体的适应度成正比。
- (5) 交叉。对于选中的用于繁殖的每一对个体, 随机选取同一整数 n , 将双亲个体在此位置相互交换。
- (6) 变异。以一定概率从群体 $P(t+1)$ 中随机选取若干个体, 对于选中的个体, 随机选取某一位进行取反运算, 即由1~0或由0~1, 变异模拟了生物进化过程中基因突变现象。
- (7) 对产生的新一代群体返回到第(3)步再进行评价、选择、交叉、变异如此循环往复, 使群体中个体的适应度和平均适应度不断提高, 直至最优个体的适应度达到某一限值, 则迭代过程收敛, 算法结束。根据船艇冷库的特点, 设定种群数目 N 取20~100, 交叉概率 P_c 取0.25~0.75, 变异概率 P_m 取0.01~0.20。

2. 冷库模糊控制系统仿真

利用Matlab软件包对基于遗传算法的冷库模糊控制系统进行仿真设计, 为实际的运行奠定坚实的基础。设冷库的温度模型可近似为一个带纯滞后环节的大惯性一阶系统。

$$G_R(S) = e^{(-\tau s)} \left(\frac{K}{TS + 1} \right)$$

式中： T 为惯性时间常数, τ 为纯滞后时间常数, K 为增益系数。根据船艇冷库的特点, 设定 $T = 6\text{min} = 360\text{s}$, $\tau = 2\text{min} = 120\text{s}$, $K = 0.3^\circ\text{C}/\text{Hz}$, 控制系统温度采样时间 T_0 为15s。由于冷库温度模型的大惯性特点, 在设计时忽略电机模型对系统带来的影响, 简单地将它作为一个增益部件考虑。系统仿真结构图如图5所示

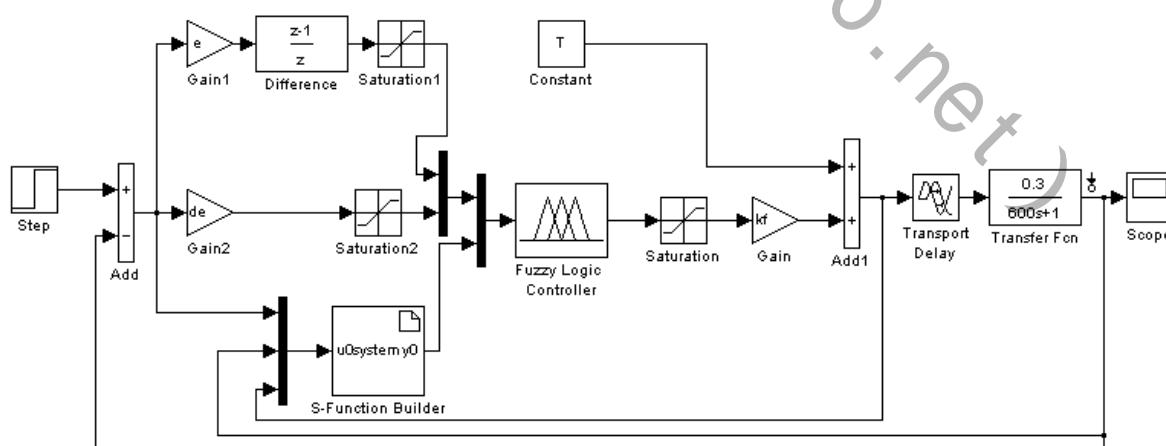


图6、基于遗传算法的冷库模糊控制系统仿真结构图

利用常规模糊控制算法和遗传模糊算法去控制冷库, 由其控制效果图可以看出用遗传算法优化的模糊控制系统具有明显的优越性。常规模糊控制算法系统虽然超调量较少, 响应速度也较快, 但其必须依赖于专家经验的精确性。而利用遗传模糊算法, 不仅不需要

报名号： # 1994

建立被控对象精确数学模型, 其控制规则和隶属度函数也不依赖于专家的经验, 利用遗传算法和计算机程序即可获得, 且其控制系统的响应速度, 超调量明显优于常规模糊算法系统。控制效果如图6所示

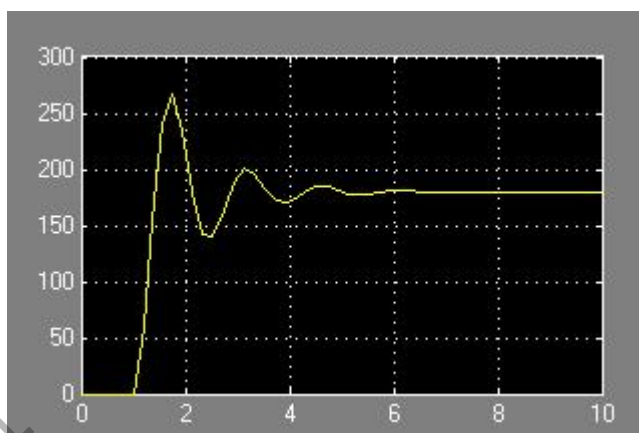


图7、未加遗传算法时的模糊控制效果

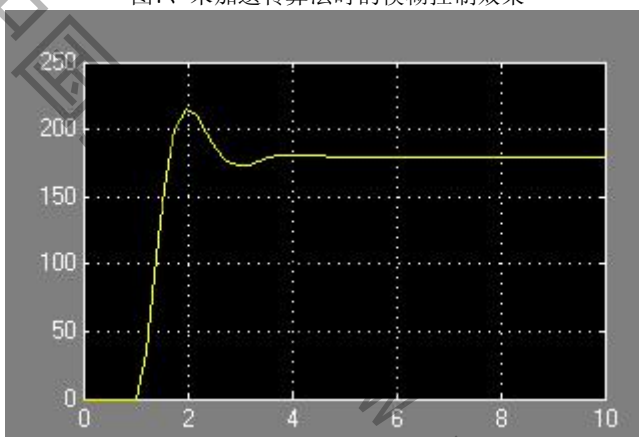


图8、加遗传算法时的模糊控制效果

3. 结论

本文提出利用遗传算法对冷库模糊控制系统的控制规则和隶属度函数进行协同自动寻优控制, 并用Matlab软件对该模糊控制系统进行仿真, 结果表明遗传模糊算法与常规模糊控制算法相比, 其响应速度快、动态特性好、过渡时间短, 同时具有稳态精度高、自适应能力强、鲁棒性好、实时性好的特点, 且系统的超调量大大减小。

参考文献

- [1] 王静, 余世林, 基于遗传算法的舰艇冷库控制仿真研究[J], 江苏船舶, 第 23 卷第 6 期: 2-4, 2006
- [2] 吴爱国, 杜春燕, 参数自寻优模糊控制器在中央空调温度控制系统中的应用[J], 中国工程科学, 第 6 卷第 11 期: 6-7, 2004
- [3] 张林伟, 基于遗传算法模糊控制系统研究[D].page30-35, 2006
- [4] H S Hwang . Automatic Design of Fuzzy Rule Base for Modeling and control Using Evolutionary[J]. IEE - Proc - Control Theory App 1, 1999, 146 (1) : 9 - 16.
- [5] J Buckley. Fuzzy Genetic Algorithms and applications [A] Fuzzy sets and systems[C]. 1994: 61 - 70.

Matlab程序清单

```
%npar--the number of the individuals
%lchrom--the length of chromosomes
%N--the number of genetations
%px--crossover probability
%pm--mrtation probility
clear;
npar=50;
lchrom=172; %19*4+32*3
N=50;
fitness=zeros(npar);
oldpop=(rand(npar,lchrom)<0.5);
px=0.5;
pm=0.1;
for t=1:N
    vars=decode(oldpop);
    fitness=fit(vars,t);
    selpop=tselect(oldpop,px,1);
    [mutpop,numutate]=mutate(covpop,pm);
    oldpop=mutpop;
end
vars=decode(oldpop);
fitness=fit(vars);
[f,n]=min(fitness);
%n--the num of the optimization individuals

%解码函数
function vars=dEcode(pop)
    [m,n]=size(pop);
    pop1=pop(:,1:76);
    vars(:,1:19)=decodeb(pop1,19,0,6);
    for i=1:m
        for j=20:77
            vars(i,j)=pop(i,32+3*(j-20)+1)*2+pop(i,32+3*(j-20)+2);
            if vars(i,j)==0
                var(i,j)=1;
            end
        end
    end
end

%二进制解码函数decodeb
function vars=decodeb(pop,nvar,maxval,minval)
%pop population of binary coded chromosomes
%navar:number of real value for each variable
%minimval:minimum real number value for each variable
%maxval:maximum real number value for each variable
[popsize,lchrome]=size(pop);
varchrome=lchrome/nvar;
pow_two=2.^(0:varchrome)';
maxintval=((2^varchrome))-1;
range=maxval-minval;
for i=1:popsize
    start=1;
    fin=varchrome;
    for j=1:nvar
        tvars(1:varchrome)=pop(i,starr:fin);
        templ=templ+pow_two(k)*tvars(varchrome-k+1);
    end
end
vars=sort(vars,2);
```

 报名号： # 1994

%选择竞争函数

```
function pop=tselect(pop,fitness)
[popsize,nchrom]=size(pop);
randlist=[round(rand((popsize*2),1)*popsize+0.5]; count=0;
[ff,zy]=max(fitness);pop(1,1:nchrom)=pop(zy,1:nchrom);
for i=2:popsize
    count=count+2;
    cmo=count-1;
%count,cmo--2 randomly chosen chromosomes from population
    if fitness(randlist(count))<fitness(randlist(cmo))
        pop(i,1:nchrom)=pop(randlist(count),1:nchome);
    else
        pop(i,1:nchrom)=pop(randlist(cmo),1:nchome);
    end
end
```

%交叉函数

```
function[new,xcount]=xover(old,px,xtype)
%new--new population of chromosomes
%xcount--of times crossover was performed
%px--crossover probability
%xtype--type of crossover
[popsize,nchrom]=size(old);
halfpop=popsize/2;
xcount=0;
if xtype==1
    randlist=rand((halfpop),1);
    for i=1:halfpop
        x=(i*2)-1;
        xpo=x+1;
        new(x,1:nchrom)=old(x,1:nchrom);
        new(xpo,1:nchrom)=old(xpo,1:nchrom);
        if(randlist(i)<px)
            xcount=xcount+1;
            xpoint=round((rand*nchrom)+0.5);
            new(xpo,1:xpoint)=old(x,1:xpoint);
            new(x,1:xpoint)=old(xpo,1:xpoint);
        end
    end
end
%2 point crossover
if xtype==2
    randlist=rand((halfpop),1);
    for i=1:halfpop
        x=(i*2)-1;
        xpo=x+1;
        new(x,1:nchrom)=old(x,1:nchrom);
        new(xpo,1:nchrom)=old(xpo,1:nchrom);
        if(randlist(i)<px)
            xcount=xcount+1;
            [xpoint]=sort(round((rand(1,2)*nchrom)+0.5);
            new(xpo,1:xpoint(1):xpoint(2))=old(x,xpoint(1):xpoint(2));
            new(x,xpoint(1):xpoint(2))=old(xpo,xpoint(1):xpoint(2));
        end
    end
end
%uniform crossover
if xtype==3
    for i=1:halfpop
        x=(i*2)-1;
        xpo=x+1;
        new(x,1:nchrom)=old(x,1:nchrom);
```

报名号： # 1994

```
new(xpo,1:nchrom)=old(xpo,1:nchrom);
for j= 1:nchrom
    test=rand;
    if test<px
        xcount=xcount+1;
        new(xpo,j)=old(x,j);
        new(x,j)=old(xpo,j);
    end
end
end
%变异函数
function[new,nmut]=mutate(pop,pm)
[popsize,nchrom]=size(pop);
nmut=0;
for i=1:popsize
    for j=1:nchrom
        test=rand;
        if test<pm
            pop(i,j)=abs(pop(i,j)-1);
            nmut=nmut+1;
        end
    end
end
end
%return new population
new=pop
%适应度计算函数
%l--the num of individuals
%T0--the respeded remperature
%T--the real temperarture
Function firness=fit(vars,t)
[m,n]=size(vars);
T0=180;
T=230;
for i=1:m
    if J<Cmax
        fitness(i)=100;
        continue
    else
        fitness(i)=0;
    end
end
```