实验用例：

用模拟退火算法解决如下 10 个城市的 TSP 问题，该问题最优解为 $f_{opt}=2.691$。

表 1　10 个城市的坐标

城市	X 坐标	Y 坐标	城市	X 坐标	Y 坐标
1	0.6683	0.2536	6	0.2293	0.7610
2	0.6195	0.2634	7	0.5171	0.9414
3	0.4000	0.4439	8	0.8732	0.6536
4	0.2439	0.1463	9	0.6878	0.5219
5	0.1707	0.2293	10	0.8488	0.3609

编程实现

用 MATLAB 实现模拟退火算法时，共编制了 5 个 m 文件，分别如下

1、swap.m

```
function [ newpath , position ] = swap( oldpath , number )
%    对 oldpath 进 行 互 换 操 作
%    number 为 产 生 的 新 路 径 的 个 数
%    position 为 对 应 newpath 互 换 的 位 置
m = length( oldpath ) ;        %    城 市 的 个 数
newpath = zeros( number , m ) ;
position = sort( randi( m , number , 2 ) , 2 ); %    随 机 产 生 交 换 的 位 置
for i = 1 : number
    newpath( i , : ) = oldpath ;
%    交 换 路 径 中 选 中 的 城 市
    newpath( i , position( i , 1 ) ) = oldpath( position( i , 2 ) ) ;
    newpath( i , position( i , 2 ) ) = oldpath( position( i , 1 ) ) ;
end
```

2、pathfare.m

```
function [ objval ] = pathfare( fare , path )
%    计 算 路 径 path 的 代 价 objval
%    path 为 1 到 n 的 排 列 ， 代 表 城 市 的 访 问 顺 序 ；
%    fare 为 代 价 矩 阵 ， 且 为 方 阵 。
[ m , n ] = size( path ) ;
objval = zeros( 1 , m ) ;
for i = 1 : m
    for j = 2 : n
        objval( i ) = objval( i ) + fare( path( i , j - 1 ) , path( i , j ) ) ;
    end
    objval( i ) = objval( i ) + fare( path( i , n ) , path( i , 1 ) ) ;
end
```

3、distance.m

```
function [ fare ] = distance( coord )
%   根 据 各 城 市 的 距 离 坐 标 求 相 互 之 间 的 距 离
%   fare 为 各 城 市 的 距 离 ， coord 为 各 城 市 的 坐 标
[ ~ , m ] = size( coord ) ;      %   m 为 城 市 的 个 数
fare = zeros( m ) ;
for i = 1 : m                    %   外 层 为 行
    for j = i : m                %   内 层 为 列
        fare( i , j ) = ...
            ( sum( ( coord( : , i ) - coord( : , j ) ) .^ 2 ) ) ^ 0.5 ;
        fare( j , i ) = fare( i , j ) ;      %   距 离 矩 阵 对 称
    end
end
```

4、myplot.m

```
function [ ] = myplot( path , coord , pathfar )
%   做 出 路 径 的 图 形
%   path 为 要 做 图 的 路 径 ， coord 为 各 个 城 市 的 坐 标
%   pathfar 为 路 径 path 对 应 的 费 用
len = length( path ) ;
clf ;
hold on ;
title( [ '近似最短路径如下，费用为' , num2str( pathfar ) ] ) ;
plot( coord( 1 , : ) , coord( 2 , : ) , 'ok');
pause( 0.4 ) ;
for ii = 2 : len
    plot( coord( 1 , path( [ ii - 1 , ii ] ) ) , coord( 2 , path( [ ii - 1 , ii ] ) ) , '-b');
    x = sum( coord( 1 , path( [ ii - 1 , ii ] ) ) ) / 2 ;
    y = sum( coord( 2 , path( [ ii - 1 , ii ] ) ) ) / 2 ;
    text( x , y , [ '(' , num2str( ii - 1 ) , ')' ] ) ;
    pause( 0.4 ) ;
end
plot( coord( 1 , path( [ 1 , len ] ) ) , coord( 2 , path( [ 1 , len ] ) ) , '-b' ) ;
x = sum( coord( 1 , path( [ 1 , len ] ) ) ) / 2 ;
y = sum( coord( 2 , path( [ 1 , len ] ) ) ) / 2 ;
text( x , y , [ '(' , num2str( len ) , ')' ] ) ;
pause( 0.4 ) ;
hold off ;
```

5、mySAA.m

```
%   模 拟 退 火 算 法 ( Simulated Annealing Algorithm ) MATLAB 程 序
```

```
clear ;
%  程 序 参 数 设 定
Coord = ...      %  城 市 的 坐 标 Coordinates
    [ 0.6683 0.6195 0.4      0.2439 0.1707 0.2293 0.5171 0.8732 0.6878 0.8488 ; ...
      0.2536 0.2634 0.4439 0.1463 0.2293 0.761   0.9414 0.6536 0.5219 0.3609 ] ;
t0 = 1 ;          %  初 温 t0
iLk = 20 ;        %  内 循 环 最 大 迭 代 次 数 iLk
oLk = 50 ;        %  外 循 环 最 大 迭 代 次 数 oLk
lam = 0.95 ;      %  λ lambda
istd = 0.001 ;    %  若 内 循 环 函 数 值 方 差 小 于 istd 则 停 止
ostd = 0.001 ;    %  若 外 循 环 函 数 值 方 差 小 于 ostd 则 停 止
ilen = 5 ;        %  内 循 环 保 存 的 目 标 函 数 值 个 数
olen = 5 ;        %  外 循 环 保 存 的 目 标 函 数 值 个 数
%  程 序 主 体
m = length( Coord ) ;        %  城 市 的 个 数 m
fare = distance( Coord ) ;   %  路 径 费 用 fare
path = 1 : m ;       %  初 始 路 径 path
pathfar = pathfare( fare , path ) ;    %  路 径 费 用 path fare
ores = zeros( 1 , olen ) ;     %  外 循 环 保 存 的 目 标 函 数 值
e0 = pathfar ;       %  能 量 初 值 e0
t = t0 ;          %  温 度 t
for out = 1 : oLk        %  外 循 环 模 拟 退 火 过 程
    ires = zeros( 1 , ilen ) ;     %  内 循 环 保 存 的 目 标 函 数 值
    for in = 1 : iLk         %  内 循 环 模 拟 热 平 衡 过 程
        [ newpath , ~ ] = swap( path , 1 ) ;    %  产 生 新 状 态
        e1 = pathfare( fare , newpath ) ;       %  新 状 态 能 量
    %  Metropolis 抽 样 稳 定 准 则
        r = min( 1 , exp( - ( e1 - e0 ) / t ) ) ;
        if rand < r
            path = newpath ;    %  更 新 最 佳 状 态
            e0 = e1 ;
        end
        ires = [ ires( 2 : end ) e0 ] ;     %  保 存 新 状 态 能 量
    %  内 循 环 终 止 准 则 ：连 续 ilen 个 状 态 能 量 波 动 小 于 istd
        if std( ires , 1 ) < istd
            break ;
        end
    end
    ores = [ ores( 2 : end ) e0 ] ;     %  保 存 新 状 态 能 量
%  外 循 环 终 止 准 则 ：连 续 olen 个 状 态 能 量 波 动 小 于 ostd
    if std( ores , 1 ) < ostd
        break ;
    end
    t = lam * t ;
```

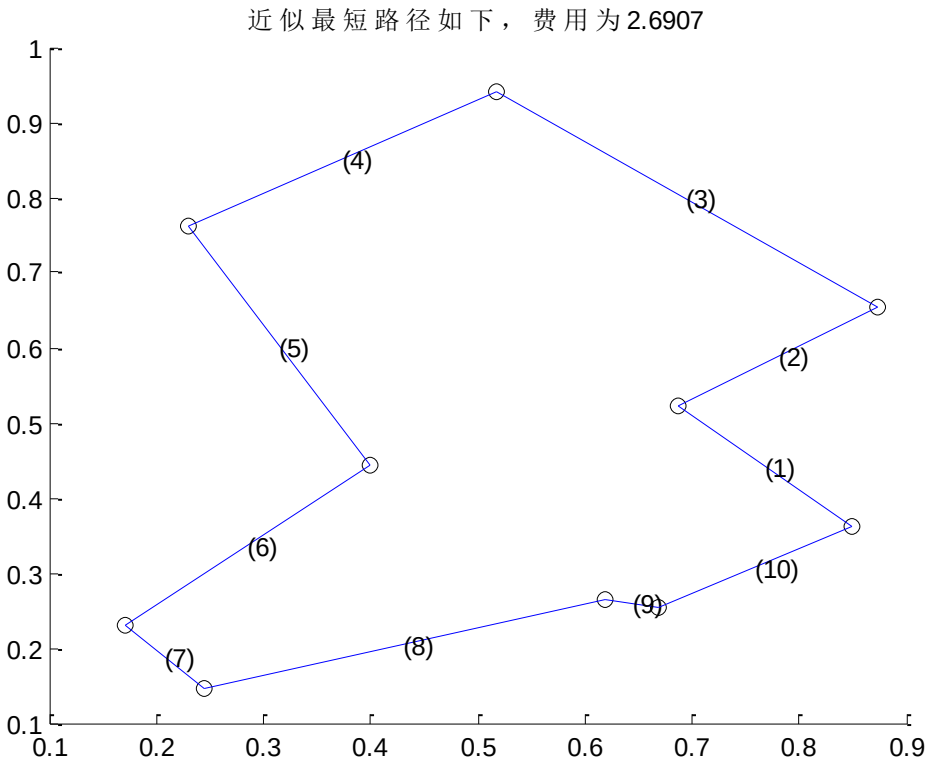
```
end
pathfar = e0 ;
%    输 入 结 果
fprintf( '近似最优路径为：\n ' )
%disp( char( [ path , path(1) ] + 64 ) ) ;
disp(path)
fprintf( '近似最优路径费用\tpathfare=' ) ;
disp( pathfar ) ;
myplot( path , Coord , pathfar ) ;
```

一次运行结果如下：

```
>> mySAA
近似最优路径为:
    10     9     8     7     6     3     5     4     2     1

近似最优路径费用 pathfare=    2.6907

>>
```



我试着运行了几次（只是改变了一下初温，也可以更改一下其他参数），发现初始温度 t0=1 时程序的最后结果与最优解差距小的概率比较大。

希望对大家有用！！！