

学 号:	0121310880330
------	---------------

武汉理工大学

课 程 设 计

题 目	基于粒子群算法的 TSP 求解
-----	-----------------

学 院	计算机科学与技术学院
-----	------------

专 业	软件工程
-----	------

班 级	SY1301
-----	--------

姓 名	郑文博
-----	-----

指导教师	李晓红
------	-----

2014 年 12 月 2 日

目录

基于粒子群算法的 TSP 问题求解	1
1 关于 TSP 问题的分析与设计	1
1.1 问题定义.....	1
1.2 可行性研究.....	1
1.2.1 问题说明与算法介绍.....	1
1.2.2 TSP 问题分析.....	1
1.2.3 PSO 算法分析.....	2
1.2.3.1 基本 PSO 算法的数学描述.....	2
1.2.3.2 基本粒子群算法的流程.....	3
1.3 基于粒子群算法进行分析.....	3
1.3.1 基于算法重新定义问题.....	3
1.3.1 基于算法得到求解公式.....	5
1.3.3 基于算法产生用贪心初始化之法.....	5
1.3.4 基于算法产生用两个种群进行遍历求优之法.....	5
1.4 总体设计.....	6
1.4.1 简明算法步骤.....	6
1.4.2 数据结构.....	6
2 基于粒子群算法求解 TSP 问题的实现	7
2.1 编码和单元测试.....	7
2.1.1 编码.....	7
2.1.2 测试.....	7
3 实验心得	15
3.1 个人体会.....	15
3.2 实验需要改进的地方.....	15
3.3 参考文献.....	16
4. 附录	16

基于粒子群算法的 TSP 问题求解

1 关于 TSP 问题的分析与设计

1.1 问题定义

本次课设针对对称性 TSP 问题求解，以 att48 问题为例，试进行说明。

1.2 可行性研究

- (1) 技术可行性——可行
- (2) 经济可行性——可行
- (3) 操作可行性——可行
- (4) 法律可行性——可行

1.2.1 问题说明与算法介绍

旅行商问题(Traveling Salesman Problem, 简称 TSP)是一个典型的 NP 完全问题。问题描述:给定 N 个城市和两两城市之间的距离, 求一条访问各个城市且仅访问一次的最短路线。虽其数学描述很简单, 却无法找到一个确定的算法在多项式时间内求解旅行商问题。

粒子群算法(Particle Swarm Optimization, 简称 PSO)由美国社会心理学家 James Kennedy 和电气工程师 Russell Eberhart 于 1995 年提出的一种全局优化算法, 该算法是一种基于群体智能的优化算法, 它是受鸟群和鱼群群体运动的行为方式启发而得到的。该算法的基本思想来源于对鸟群简化社会模型的研究及行为模拟, 其中的每个个体充分利用群体的与自身的智能, 不断地调整学习, 最终得到满意解。在 PSO 算法中, 每个备选解是搜索空间中的一个粒子, 每个粒子根据它自身的经验和粒子群的最佳经验, 在问题空间中向更好的位置飞行, 如此循环搜索直到发现最优解。该算法在连续优化问题的运用中取得了较好的效果.但较少用于 TSP 等组合优化问题的求解。

1.2.2 TSP 问题分析

TSP 是运筹学、图论和组合优化中的 NP 难问题。问题的具体如下: 给定 N 个城市及两两城市之间的距离, 求一条经过各城市一次且仅一次的最短路线。其图

论描述为：给定图 $G=(V, A)$ ，其中 V 为顶点集， A 为各顶点相互连接组成的弧集，已知各顶点间连接距离，要求确定一条长度最短的 Hamilton 回路，即遍历所有顶点一次且仅一次的最短回路。设 d_{ij} 为城市 i 与 j 之间的距离，即弧 (i, j) 的长度。引入决策变量：

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{若旅行商访问城市 } i \text{ 后访问城市 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (1.1)$$

$$\text{则 TSP 的目标函数为} \quad \text{Min } Z = \sum_{i,j=1}^n X_{ij} d_{ij} \quad (1.2)$$

TSP 问题描述非常简单，但最优化求解很困难，若用穷举法搜索，则要考虑所有可能情况，并两两对比，找出最优，其算法复杂性呈指数增长，即所谓的“组合爆炸”。所以，寻求和研究 TSP 的有效启发式算法，是问题的关键。

1.2.3 PSO 算法分析

PSO 算法主要模拟鸟群飞行的觅食行为，通过鸟群的集体协作达到寻优目的。在 PSO 算法中，每个粒子利用自身的历史最优位置和整个粒子群的全局最优解提供的信息，在解空间内不断飞行，实现寻找最优解的目的。

1.2.3.1 基本 PSO 算法的数学描述

设搜索空间为 N 维，总粒子数为 Num ，第 i 个粒子的位置向量 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in})$ ，第 i 个粒子的速度向量是 $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, \dots, v_{in})$ ，第 i 个粒子在“飞行”中的历史最优位置是 $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, p_{i3}, \dots, p_{in})$ ， P_g 表示目前为止在整个粒子群中发现的全局最优粒子；粒子按如下方式飞行：

$$v_{ij}(t+1) = w \times v_{ij}(t) + c1 \times \text{rand1}() \times [P_{ij}(t) - x_{ij}(t)] + c2 \times \text{rand2}() \times [P_g(t) - x_{ij}(t)] \quad (2.1)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (2.2)$$

其中，下标“ j ”表示第 j 维， t 为飞行的次数； w 为惯性权重，使粒子保持运动惯性，控制前一速度对当前速度的影响，较大的 w 适于对解空间进行大规模

探查, 较小的 w 适合于进行小范围开挖; c_1, c_2 为加速常数, 通常在 $0 \sim 2$ 间取值, c_1 调节粒子飞向自身最好位置方向的步长, c_2 调节粒子向全局最好位置飞行步长; $\text{rand1}()$ 和 $\text{rand2}()$ 是 $[0, 1]$ 之间相互独立的随机数。粒子的位置向量中各维变化范围为 $[X_{\min}, X_{\max}]$, 速度变化范围为 $[V_{\min}, V_{\max}]$, 迭代中若位置和速度超过边界范围则取边界值。PSO 算法通过粒子在解空间内不断地变化速度向量来改变位置, 最终找到最优解。

1.2.3.2 基本粒子群算法的流程

Step1: 依照初始化过程, 对粒子群的随机位置和速度进行初始设定;

Step2: 计算每个粒子的适应值;

Step3: 对于每个粒子, 将其适应值与所经历过的最好位置 P_i 的适应值进行比较, 若较好, 则将其作为当前的最好位置;

Step4: 对每个粒子, 将其适应值与全局所经历的最好位置 P_g 的适应值进行比较, 若较好, 则将其作为当前的全局位置;

Step5: 根据方程 (2.1)、(2.2) 对粒子的速度和位置进行迭代进化;

Step6: 循环步骤 2-5, 直到结束条件为足够好的适应值或达到一个预设最大迭代次数, 算法终止。

1.3 基于粒子群算法进行分析

1.3.1 基于算法重新定义问题

TSP 问题为离散问题, 用 PSO 求解 TSP 问题需要对基本 PSO 算法中粒子的位置、速度以及操作进行重新定义:

(1) 状态空间

TSP 问题的结果是要求出具有最短路径的哈密尔顿圈, 所以状态空间即为所有位置的集合。

(2) 粒子的位置

粒子的位置可以定义为一个具有所有节点的哈密尔顿圈, 设所有 n_i 与 n_{i+1} 之间的弧存在, 粒子的位置可表示为序列 $x = (n_1, n_2, \dots, n_N, n_{N+1})$, 其中 $n_i \in E, n_1 = n_{N+1}$,

E 为状态空间。

(3) 粒子的速度

速度定义为粒子位置的变换集，表示一组置换序列的有序列表。可以表示为：
$$v = \{(i_k, j_k), (i_k, j_k) \in \{1, 2, \dots, N\}, k \in \{1, 2, \dots, \|v\|\}\} \quad (3.1)$$

其中， $\|v\|$ 表示该速度所含交换的数目，式 (3.1) 表示先交换粒子中 n_{i1} 、 n_{j1} 的位置，然后交换 n_{i2} 、 n_{j2} 的位置，依此类推。

(4) 粒子位置与速度的加法操作

该操作表示将一组置换序列依次作用于某个粒子位置，其结果为一个新的位置，即一个新的节点的排列。例如：位置为 $X = \{1, 5, 2, 4, 3, 1\}$ ，速度为 $V = \{(1, 3), (2, 4)\}$ ，则其相加 $X+V$ 后结果为 $X = \{2, 4, 1, 5, 3, 2\}$ 。

(5) 粒子位置与位置的减法操作

粒子位置与位置相减后结果为一组置换序列，即速度。例如 $X = \{2, 4, 1, 5, 3, 2\}$ ， $Y = \{1, 5, 2, 4, 3, 1\}$ ，由于 $X(1)=Y(3)=2$ ，所以第一个交换为 $^{sO_1} = (1, 3)$ ， $X1 = X + ^{sO_1} = \{2, 4, 1, 5, 3, 2\} + (1, 3) = \{1, 4, 2, 5, 3, 1\}$ ； $X1(2)=Y(4)=4$ ，因此第二个交换为 $^{sO_2} = (2, 4)$ ，作用到粒子的位置 $X1$ 后得 $X2 = X1 + ^{sO_2} = \{1, 4, 2, 5, 3, 1\} + (2, 4) = \{1, 5, 2, 4, 3, 1\} = Y$ ，所以位置 X 与位置 Y 相减后得到一组置换序列，即 $X-Y = \{(1, 3), (2, 4)\}$ 。

(6) 粒子速度与速度的加法操作

粒子速度与速度的加法操作为两个置换序列的合并，结果为一个新的置换序列，即一个新的速度。例如：速度 $V1 = \{(1, 3), (2, 4)\}$ ， $V2 = \{(2, 3), (5, 4)\}$ ，相加后得 $V = V1 + V2 = \{(1, 3), (2, 4), (2, 3), (5, 4)\}$ 。

(7) 实数与粒子速度的乘法操作

实数 c 为 $(0, 1)$ 的任意实数，设速度 v 为 k 个置换序列，则乘法操作为对速度置换序列进行截取，使得新的速度的置换序列长度为 $|c \times k|$ ($c \times k$ 取整)。例如：速度 $V = \{(2, 3), (1, 3), (4, 5), (5, 2)\}$ ， $k=4$ ，若 $c=0.78$ ，则 $c \times k=3.12$ ， $|c \times k|=3$ ，相乘后速度为 $c \times V = \{(2, 3), (1, 3), (4, 5)\}$ 。

1.3.1 基于算法得到求解公式

粒子的速度、位置及其各种操作重新定义后，离散粒子群算法的速度更新公式表示如下：

$$V_i^{k+1} = wV_i^k \oplus c_1r_1(P_i^k - X_i^k) \oplus c_2r_2(P_g^k - X_i^k) \quad (3.2)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (3.3)$$

其中， c_1 、 c_2 与基本 PSO 算法中定义相同，仍为加速常数，在 0~2 之间取值， r_1 、 r_2 为(0,1)上均匀分布的两个相互独立的随机数； \oplus 为两交换序的合并算子，表示速度与速度的加法操作； $-$ 表示粒子位置与位置的减法操作； $+$ 表示粒子位置与速度的加法操作。

1.3.3 基于算法产生用贪心初始化之法

由于旅行商问题为一个循环回路，所以起始城市可以为任意的一个城市。本文采用贪心算法的思想，随机选择一个城市作为出发城市，并始终选择距离当前城市最近的城市作为下一个遍历城市，直到所有城市均被遍历后直接连接到出发城市即可。

至此，可以利用贪心算法得到近似最优循环序列，产生一定规模的初始种群。这样产生的初始种群全局最优值已经比较接近问题的解，因此可以节省搜索时间，提高算法收敛速度。

1.3.4 基于算法产生用两个种群进行遍历求优之法

生种群内部独立进行 PSO 进化，种群个体最优之间以一定概率进行交叉。两个种群同时寻优可以减小算法陷入局部最优的概率，种群间个体最优的交叉能够增强两种群间以及粒子间的信息共享，及时传递最优值信息，提高粒子向更好解进化的速度。

1.4 总体设计

1.4.1 简明算法步骤

Step1: : 用贪心算法产生两个初始种群 A 群和 B 群, 随机产生两个基本交换序作为两个种群的初始速度, 每个粒子位置向量的每一维随机实数, 设定粒子群算法的参数 w , $c1$, $c2$;

Step2: 计算粒子适应度, 确定个体极值 $pbest$ 和全局极值 $gbest$;

Step3: 对粒子的历史最优解进行分析, 确定每个粒子的历代最优解。

Step4: 以一定概率将A群粒子的个体最优与B群粒子的个体最优进行交叉, 产生新的个体最优;

Step5: 为每个粒子按照式 (3.4) 和式 (3.5) 确定新的速度向量和下一代的位置向量, 并产生两个新的全局最优。

Step6: 对新形成的粒子群按照 Step2 的方法确定各粒子代表的可行解的路径长度, 更新粒子个体的历史最优位置和粒子群的全局最优解。

Step7: 如未满足终止条件(一个种群两次进化适应度之差小于最小误差), 则返回 step3。

1.4.2 数据结构

```
public class PSO {
    private int vPgd; // 最优解的评价值
    private int bestT; // 出现最优解的代数
    private int[] fitness; // 种群适应度, 每个个体的适应度
    private Random random;
    private int BN;
    private float w; // 权重
    private int MAX; // 迭代次数
    private int scale; // 种群规模
    private int citynumber; // 城市数量
    private int t; // 目前的代数
    private int [][] distance; // 距离矩阵
    private int [][] OP; // 粒子群
    private ArrayList<ArrayList<PTO>> listV; // 每个粒子的初始交换序列
}
```



```
private int [][] Pd;//一个粒子在各代中出现的最优解
private int[] VPD;//解的评价值
private int[] Pgd;//每个粒子所经历的各代中，所记住的最优解
private BufferedReader data;
public PSO() {
}
```

2 基于粒子群算法求解 TSP 问题的实现

2.1 编码和单元测试

2.1.1 编码

见附录页。

2.1.2 测试

测试开始

初始化

39, 45, 3, 16, 25, 6, 29, 42, 41, 38, 18, 19, 13, 4, 21, 20, 22, 30, 35, 40, 14, 12, 34, 10,
15, 33, 28, 0, 9, 7, 31, 36, 44, 27, 24, 32, 2, 47, 1, 11, 37, 5, 8, 26, 43, 17, 23, 46,
----->52642

最佳长度43203 代数: 0
最佳长度42836 代数: 0
最佳长度42140 代数: 2
最佳长度38835 代数: 7
最佳长度38086 代数: 51
最佳长度35587 代数: 89
最佳长度34999 代数: 138
最佳长度34436 代数: 143
最佳长度33455 代数: 147
最佳长度33198 代数: 156
最佳长度32571 代数: 209
最佳长度31893 代数: 254
最佳长度31566 代数: 424
最佳长度31421 代数: 467
最佳长度31343 代数: 582
最佳长度31206 代数: 695
最佳长度30852 代数: 723

最佳长度30231 代数: 810

最佳长度29862 代数: 814

最佳长度29763 代数: 847

最佳长度29571 代数: 928

最佳长度29448 代数: 1093

最佳长度29292 代数: 1208

最佳长度29256 代数: 1288

最佳长度29061 代数: 1415

最佳长度28802 代数: 1423

最佳长度28464 代数: 1478

最佳长度26931 代数: 1495

最佳长度26283 代数: 1509

最佳长度25956 代数: 1572

最佳长度25539 代数: 1578

最佳长度25367 代数: 1580

最佳长度25221 代数: 1583

最佳长度25098 代数: 1589

最后结果

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,
----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,
----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,
----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 17, 37, 18,
----->25223

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,
----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,
----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,
----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,

----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,

----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,

----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 17, 43, 18, 37,

----->26040

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
 0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
 , 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 37, 43, 18, 17,
 ----->25438

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
 0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
 , 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 17, 37, 18,
 ----->25223

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
 0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
 , 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,
 ----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
 0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
 , 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,
 ----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
 0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6

, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 18, 17, 37,

----->25945

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,

----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 17, 18, 37,

----->25947

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,

----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 17, 18, 37,

----->25947

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 17, 37, 18, 43,

----->26038

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,

----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 17, 43, 18, 37,

----->26040

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 39, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 46, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 17, 37, 18,

----->25344

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 18, 17, 37,
----->25945

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,
----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18,
----->25005

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 17, 37, 18,
----->25223

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 17, 37, 18,
----->25223

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18, 16, 6
, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 30, 7,
21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 18, 17,
----->25726

最佳长度出现代数:

1590

最佳长度

25005

最佳路径:

16, 6, 27, 42, 26, 29, 46, 10, 2, 47, 41, 31, 12, 13, 19, 45, 14, 39, 24, 40, 4, 33, 11, 8, 3
0, 7, 21, 22, 15, 38, 1, 28, 35, 36, 5, 32, 0, 9, 3, 34, 44, 25, 23, 20, 43, 37, 17, 18,

3 实验心得

3.1 个人体会

本文通过对粒子群算法的分析, 加入使基本粒子群算法符合 TSP 问题的求解, 对 TSP 问题进行了探究。通过这次试验, 我觉得算法之路任重而道远, 应该好好努力。

3.2 实验需要改进的地方

由于个人能力和实验时间的限制, 这次实验结果不能尽善尽美, 本文仅仅局限于 TSP 问题中分对称性问题。对于非对称性问题的仿真求解, 还需要进一步探究。

3.3 参考文献

- 【1】 数据结构（C 语言版） 严蔚敏 吴伟民主编 清华大学出版社
- 【2】 C++程序设计 闵联营 何克右主编 清华大学出版社
- 【3】 Kennedy J, Eberhart R C. *Particle Swarm Optimization* [C] // *Proc IEEE International Conference on Neural Networks, IV*. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995, 1942-1948
- 【4】 钟一文, 杨建刚等. 求解 TSP 问题的离散粒子群优化算法[J]. 系统工程理论与实践. 2006, 6: 88-94

4. 附录

```
import java.util.ArrayList;
import java.util.Random;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.FileInputStream;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStreamReader;

public class PSO {
    private int vPgd; //最优解的评价值
    private int bestT; //出现最优解的代数
    private int[] fitness; //种群适应度, 每个个体的适应度
    private Random random;
    private int BN;
    private float w; //权重
    private int MAX; //迭代次数
    private int scale; //种群规模
    private int citynumber; //城市数量
    private int t; //目前的代数
    private int [][] distance; //距离矩阵
    private int [][] OP; //粒子群
    private ArrayList<ArrayList<PTO>> listV; //每个粒子的初始交换序列
    private int [][] Pd; //一个粒子在各代中出现的最优解
    private int[] VPD; //解的评价值
    private int[] Pgd; //每个粒子所经历各代中, 所记住的最优解
    private BufferedReader data;
```

```

public PSO() {
}

public PSO(int n, int g, int s, float w) {
    this.citynumber= n;
    this.MAX = g;
    this.scale = s;
    this.w = w;
}

private void init(String filename) throws IOException {
    //读取数据
    int[] x;
    int[] y;
    String s;
    data = new BufferedReader(new InputStreamReader(
        new FileInputStream(filename)));
    distance = new int[citynumber][citynumber];
    x = new int[citynumber];
    y = new int[citynumber];
    for (int i = 0; i < citynumber; i++) {
        s = data.readLine();
        String[] str = s.split(" "); //分割字符串
        x[i] = Integer.valueOf(str[1]); //X 坐标
        y[i] = Integer.valueOf(str[2]); //Y 坐标
    }
    for (int i = 0; i < citynumber - 1; i++) {
        //计算距离矩阵
        distance[i][i] = 0;
        for (int j = i + 1; j < citynumber; j++) {
            double rp = Math
                .sqrt(((x[i] - x[j]) * (x[i] - x[j]) + (y[i] - y[j])
                    * (y[i] - y[j])) / 10.0); //伪欧式公式
            int tp = (int) Math.round(rp); //四舍五入，取整数
            if (tp < rp) {
                distance[i][j] = tp + 1;
                distance[j][i] = distance[i][j];
            }
            else {
                distance[i][j] = tp;
                distance[j][i] = distance[i][j];
            }
        }
    }
}
}

```

```

distance[citynumber - 1][citynumber - 1] = 0;
OP = new int[scale][citynumber];
fitness = new int[scale];
Pd = new int[scale][citynumber];
VPD = new int[scale];
Pgd = new int[citynumber];
vPgd = Integer.MAX_VALUE;
bestT = 0;
t = 0;
random = new Random(System.currentTimeMillis());
}

void initGroup() {
    //初始化种群
    int i, j, k;
    for (k = 0; k < scale; k++)//种群数量
    {
        OP[k][0] = random.nextInt(65535) % citynumber;

        for (i = 1; i < citynumber;)//粒子个数
        {
            OP[k][i] = random.nextInt(65535) % citynumber;
            for (j = 0; j < i; j++) {
                if (OP[k][i] == OP[k][j]) {
                    break;
                }
            }
            if (j == i) {
                i++;
            }
        }
    }
}

void initListV() {
    int ra;
    int raA;
    int raB;
    listV = new ArrayList<ArrayList<PTO>>();
    for (int i = 0; i < scale; i++) {
        ArrayList<PTO> list = new ArrayList<PTO>();
        ra = random.nextInt(65535) % citynumber;
    }
}

```

```

        for (int j = 0; j < ra; j++) {
            raA = random.nextInt(65535) % citynumber;
            raB = random.nextInt(65535) % citynumber;
            while (raA == raB) {
                raB = random.nextInt(65535) % citynumber;
            }
            PTO s = new PTO(raA, raB);
            list.add(s);
        }

        listV.add(list);
    }
}

```

```

public int evaluate(int[] chr) {
    int len = 0;
    //城市编码
    for (int i = 1; i < citynumber; i++) {
        len += distance[chr[i - 1]][chr[i]];
    }
    len += distance[chr[citynumber - 1]][chr[0]];
    return len;
}

```

// 求一个基本交换序列作用于编码 arr 后的编码

```

public void add(int[] arr, ArrayList<PTO> list) {
    int temp = -1;
    PTO s;
    for (int i = 0; i < list.size(); i++) {
        s = list.get(i);
        temp = arr[s.getX()];
        arr[s.getX()] = arr[s.getY()];
        arr[s.getY()] = temp;
    }
}

```

//求两个编码的基本交换序列

```

public ArrayList<PTO> minus(int[] a, int[] b) {
    int[] temp = b.clone();
    int index;//交换子
    PTO s;//交换序列
    ArrayList<PTO> list = new ArrayList<PTO>();
}

```

```
        for (int i = 0; i < citynumber; i++) {
            if (a[i] != temp[i]) {
                // 在 temp 中找出与 a[i]相同数值的下标 index
                index = findnumber(temp, a[i]);
                // 在 temp 中交换下标 i 与下标 index 的值
                changeIndex(temp, i, index);
                //记住交换子
                s = new PTO(i, index);
                //保存交换子
                list.add(s);
            }
        }
        return list;
    }

    // 在 arr 数组中查找 number, 返回 number 的下标
    public int findnumber(int[] arr, int num) {
        int index = -1;
        for (int i = 0; i < citynumber; i++) {
            if (arr[i] == num) {
                index = i;
                break;
            }
        }
        return index;
    }

    // 将数组 arr 下标 index1 与下标 index2 的值交换
    public void changeIndex(int[] arr, int index1, int index2) {
        int temp = arr[index1];
        arr[index1] = arr[index2];
        arr[index2] = temp;
    }

    //二维数组 copy
    public void copyarr(int[][] from, int[][] to) {
        for (int i = 0; i < scale; i++) {
            for (int j = 0; j < citynumber; j++) {
                to[i][j] = from[i][j];
            }
        }
    }

    //一维数组 copy
    public void copyarraynumber(int[] from, int[] to) {
        for (int i = 0; i < citynumber; i++) {
```

```

        to[i] = from[i];
    }
}

public void evolution() {
    int i, j, k;
    int len = 0;
    float ra = 0f;
    ArrayList<PTO> Vi;
    //迭代一次
    for (t = 0; t < MAX; t++) {
        //每个粒子
        for (i = 0; i < scale; i++) {
            if(i==BN) continue;
            ArrayList<PTO> Vii = new ArrayList<PTO>();
            // 更新速度
            // Vii=wVi+ra(Pid-Xid)+rb(Pgd-Xid)
            Vi = listV.get(i);
            // wVi+表示获取 Vi 中 size*w 取整个交换序列
            len = (int) (Vi.size() * w);
            for (j = 0; j < len; j++) {
                Vii.add(Vi.get(j));
            }
            // Pid-Xid
            ArrayList<PTO> a = minus(Pd[i], OP[i]);
            ra = random.nextFloat();
            // ra(Pid-Xid)
            len = (int) (a.size() * ra);
            for (j = 0; j < len; j++) {
                Vii.add(a.get(j));
            }
            ArrayList<PTO> b = minus(Pgd, OP[i]);
            ra = random.nextFloat();
            len = (int) (b.size() * ra);
            for (j = 0; j < len; j++) {
                PTO tt= b.get(j);
                Vii.add(tt);
            }
            // 保存新 Vii
            listV.add(i, Vii);
            //Xid'=Xid+Vid
            add(OP[i], Vii);
        }
    }
}

```

```

    }
    // 计算新粒子群适应度, Fitness[max], 选出最好的解
    for (k = 0; k < scale; k++) {
        fitness[k] = evaluate(OP[k]);
        if (VPD[k] > fitness[k]) {
            VPD[k] = fitness[k];
            copyarraynumber(OP[k], Pd[k]);
            BN=k;
        }
        if (vPgD > VPD[k]) {
            System.out.println("最佳长度"+vPgD+" 代数: "+bestT);
            bestT = t;
            vPgD = VPD[k];
            copyarraynumber(Pd[k], PgD);
        }
    }
}
}
}

```

```

public void solve() {
    int i;
    int k;
    initGroup();
    initListV();
    //每个粒子所经历的各代中, 所记住的最优解
    copyarr(OP, Pd);
    // 计算新粒子群适应度, Fitness[max], 选出最好的解
    for (k = 0; k < scale; k++) {
        fitness[k] = evaluate(OP[k]);
        VPD[k] = fitness[k];
        if (vPgD > VPD[k]) {
            vPgD = VPD[k];
            copyarraynumber(Pd[k], PgD);
            BN=k;
        }
    }
    System.out.println("初始化");
    for (k = 0; k < scale; k++) {
        for (i = 0; i < citynumber; i++) {
            System.out.print(OP[k][i] + ",");
        }
    }
}

```



```

        System.out.println();
        System.out.println("----->" + fitness[k]);
    evolution();//进化
    System.out.println("最后结果");
    for (k = 0; k < scale; k++) {
        for (i = 0; i < citynumber; i++) {
            System.out.print(OP[k][i] + ",");
        }
        System.out.println();
        System.out.println("----->" + fitness[k]);
    System.out.println("最佳长度出现代数: ");
    System.out.println(bestT);
    System.out.println("最佳长度");
    System.out.println(vPgD);
    System.out.println("最佳路径: ");
    for (i = 0; i < citynumber; i++) {
        System.out.print(Pgd[i] + ",");
    }
}
}
}

public static void main(String[] args) throws IOException {
    System.out.println("测试开始");
    PSO pso = new PSO(48, 6000, 30, 0.5f);
    pso.init("D://1.txt");//测试数据来源
    //http://elib.zib.de/pub/Packages/mp-testdata/tsp/tsplib/tsp/att48.tsp
    pso.solve();
}

class PT0 extends PSO
{
    private int x;
    private int y;

    public PT0(int x,int y)
    {
        this.x=x;
        this.y=y;
    }
}

```

```
    public int getX() {  
        return x;  
    }  
    public void setX(int x) {  
        this.x = x;  
    }  
    public int getY() {  
        return y;  
    }  
    public void setY(int y) {  
        this.y = y;  
    }  
    public void print()  
    {  
        System.out.println("x:"+this.x+" y:"+this.y);  
    }  
}  
}
```