

# 基于遗传算法的 TSP 问题求解算法及其系统

## A TSP Solving Algorithm and System Based on Genetic Algorithm

(北京工业大学) 代桂平 王 勇 侯亚荣

DAI Gui-ping WANG Yong HOU Ya-rong

**摘要:** TSP 问题为组合优化中的经典的 NP 完全问题。针对这一问题,首先设计了基于遗传算法的求解算法,包括编码设计、适应度函数选择、终止条件设定、选择算子设定、交叉算子设定以及变异算子设定等,给出了基于遗传算法求解 TSP 问题的一般性流程,然后设计并实现了基于遗传算法的 TSP 问题求解系统,给出了求解系统的体系结构,并给出了求解系统基于 Java 语言的实现机制,最后通过实验结果的分析,表明了算法具有较好的寻优性能,系统具有较好的实用性。

**关键词:** 遗传算法; 旅行商问题; 体系结构

**中图分类号:** TP319 **文献标识码:** A

**Abstract:** TSP is a representative combinational optimization problem and a NP-hard problem. Solving algorithm based on genetic algorithm is designed, including chromosome encoding, fitness function design, end condition design, selection operator design, crossover operator design and mutation operator design et al. Then a solving system is designed and implemented: the architecture of solving system is given and implementation mechanism based on Java language is presented. Finally, it is illustrated that the algorithm has good performance and the system has good practicability through analysis of experimental results.

**Key words:** Genetic Algorithm; TSP Problem; Architecture

技术创新

## 1 引言

TSP 问题为组合优化中的经典问题,已经证明为一 NP 完全问题,即其最坏情况下的时间复杂性随着问题规模的扩大按指数方式增长,到目前为止不能找到一个多项式时间的有效算法。TSP 问题可描述为:已知  $n$  个城市相互之间的距离,某一旅行商从某个城市出发访问每个城市一次且仅一次,最后回到出发城市,如何安排才使其所走路线最短。TSP 问题不仅仅是一个简单的组合优化问题,其他许多的 NP 完全问题可以归结为 TSP 问题,如邮路问题、装配线上的螺帽问题和产品的生产安排问题等,使得 TSP 问题的有效求解具有重要的意义。

遗传算法是一种进化算法,其基本原理是仿效生物界中的“物竞天择、适者生存”的演化法则。遗传算法的做法是把问题参数编码为染色体,再利用迭代的方式进行选择、交叉以及变异等运算来交换种群中染色体的信息,最终生成符合优化目标的染色体。实践证明,遗传算法对于解决 TSP 问题等组合优化问题具有较好的寻优性能。

许多学者在基于遗传算法求解 TSP 问题方面做了很多的工作,这些工作大致可以分为两类:一类是基于经典遗传算法或者遗传算法变种对于 TSP 问题进行了求解;一类是采用遗传算法对 TSP 问题或者 TSP 问题的变种进行了求解。

在第一类中,文献使用一种改进的多搜索方法的遗传算法对 TSP 问题进行了求解;文献使用最小约束的编码和交叉的遗传算法求解了 TSP 问题;王宇平等人使用量子遗传算法来求解遗传算法;郑立平等人使用混合杂交的遗传算法求解了 TSP 问题;戴晓明等人采用混合并行遗传算法对 TSP 问题进行了求解。在第二类中,分别利用遗传算法对动态 TSP 问题、欧氏平面

TSP 问题、多目标 TSP 问题进行了求解。此外,文献等利用其它优化算法对 TSP 问题进行了求解。

上述算法求解 TSP 问题都取得较好的效果,但是都没有涉及求解系统的设计与实现,不同的是,本文除了一种整数编码的遗传算法来求解 TSP 问题外,还重点给出了求解系统设计与实现,实验结果表明算法具有较好的寻优性能,求解系统具有较好的实用性。本文设计了一个基于遗传算法的 TSP 问题求解算法,基于 Java 语言设计并实现了求解系统。本文如下组织:在第二节中介绍了相关的研究工作;在第三节中设计了基于遗传算法的求解算法;在第四节设计了求解系统的体系结构和基于 Java 语言的实现机制;在第五节给出了实验结果并对实验结果作了分析;最后对全文的内容进行了总结。

## 3 算法设计

1)染色体编码:在遗传算法运算之前,需要针对问题设计染色体,包括基因串的长度以及基因代表的含义,也就是对要搜索空间的可行解以编码的形式呈现。一般的编码方式采用二进制编码,此外也有整数、实数、文字等编码方式。采用整数编码的方式,对于  $n$  个城市的 TSP 问题,染色体分为  $n$  段,其中每一段为对应城市的编号,如对 20 个城市的 TSP 问题{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20},则 20|18|17|3|5|4|6|1|2|9|8|7|1|3|12|1|6|14|15|11|10|19 就是一个合法的染色体。在生成染色体时需要进行染色体合法性检查环节,即染色体恰好是  $n$  个城市编码的一个排列,不能有重复的城市代码出现。

2)种群初始化:在完成染色体编码以后,必须产生一个初始种群作为起始解,所以需要首先决定初始化种群的数目。初始化种群的数目一般根据经验得到,如果初始化种群的数目太大,可能会消耗过多的计算时间,但是如果太小可能难以达到预期的效果而导致过早收敛。我们在种群初始化时采用随机方式产生,

代桂平: 讲师 博士

一般情况下种群的数量视城市规模的大小而确定,其取值在10~160之间浮动。

3)适应度函数的确定:设  $k_1|k_2|\dots|k_i|\dots|k_n$  为一个采用整数编码的染色体,  $c_{k_i,k_j}$  为城市  $k_i$  到  $k_j$  的距离,则适应度函数

$$f = \frac{1}{\sum_{k_i, k_j} c_{k_i, k_j}} \quad (1)$$

即适应度函数为恰好走遍  $n$  个城市的距离的倒数,优化的目标就是选择适应度函数值尽可能大的染色体,适应度函数值越大的染色体越优质,反之越劣质。

4)终止条件设定:严格地讲,遗传算法的迭代终止条件目前尚无定论。在许多的组合优化问题中,适应度最大值并不清楚,其本身就是搜索的对象,因此终止条件很难确定。若发现群体中个体的进化已经趋于稳定状态,换句话说,如果发现群体中一定的比例的个体已经是同一个体,则终止算法的迭代过程。或者设置最大迭代次数,如 200。

5)选择:选择操作从种群中选择优胜的个体,并淘汰劣质的个体。选择的目的是把优化的个体直接遗传到下一代或者通过对交叉产生新的个体再遗传到下一代。选择是建立在群体中个体的适应度评估的基础上的。常用的选择算子包括适应度比例方法、最佳个体保留方法、期望值方法、排序选择方法等。选择适应度比例方法来对种群中的个体进行选择。

6)交叉:交叉算子是遗传算法中起核心作用的遗传操作,所谓交叉是指两个父代个体的部分结构加以替换重组而生成新的个体的操作。对于二进制编码来说常用的交叉算子包括一点交叉、二点交叉、多点交叉、一致交叉等。选用二点交叉算子,并选择交叉概率为 0.5。

7)变异:变异算子的基本内容是对群体中个体串的某些基因座的基因值作变动。就字符集为 {0,1} 的二进制码串来说,编译操作就是把基因座上的某些基因值取反,即  $1 \rightarrow 0$  或者  $0 \rightarrow 1$ 。一般来说变异算子操作的基本步骤如下:

- 1)在群体的所有的个体的码串范围内随机确定基因座;
- 2)以事先确定的变异概率对这些基因座的基因值进行变异。我们选用基本变异算子,并选定变异概率为 0.001。

8)算法流程:采用经典的遗传算法流程,包括了染色体编码、种群初始化、计算适应度函数值、终止条件评判、选择、交叉以及变异等环节,获得满意解以后即终止程序的运行或者种群趋于稳定后即终止程序的运行。

#### 4 系统体系结构与实现机制

求解系统的软件体系结构如图 1 所示。整个系统从上到下可以分为 3 个部分:界面模块、改进遗传算法实现模块和基本遗传算法实现模块。

界面模块充当用户与系统的接口,主要由城市布局选择和优化结果显示两部分组成。用户可以选择 TSP 问题城市的规模,用鼠标设置城市的布局。在遗传算法执行的过程中动态显示优化的进程,并最终显示优化的结果。

改进的遗传算法实现模块主要用来实现本文提出的求解 TSP 问题的遗传算法,主要由整数编码实现、特殊的二元交叉实现和适应度函数的实现三部分组成。整数编码部分实现了本文提出的整数编码机制,特殊的二元交叉实现了采用整数编码的染色体之间的二元交叉算法,而适应度函数实现了本文提出的适应度函数。

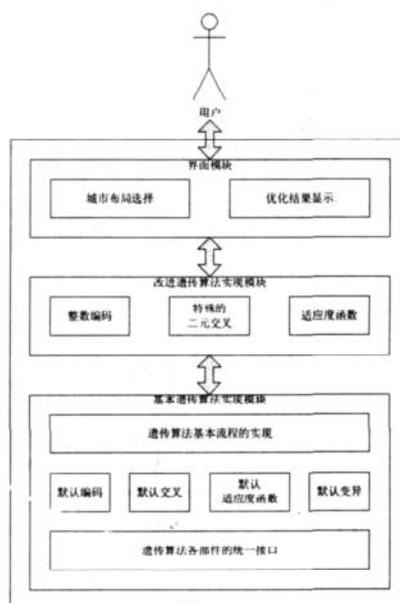


图 1 求解系统的体系结构

基本遗传算法实现模块实现了基本的遗传算法,主要有遗传算法基本流程的实现、默认编码、默认交叉、默认变异、默认适应度函数以及遗传算法各个部件的统一的接口实现。遗传算法基本流程的实现部分实现了一个基本的遗传算法流程,如图 1 所示。默认编码实现了最经常使用的二进制编码。默认交叉实现了基本的二元交叉算法。默认变异实现了基本的位编译算法。而默认适应度函数给出了适应度函数的抽象实现。遗传算法的各个部件的统一的接口给出了遗传算法中的各个部件,如染色体、染色体工厂、种群、选择算法、变异算法等的抽象接口。

求解系统采用 Java 语言实现,其中基本遗传算法的实现部分采用了 Jaga 工具包。遗传算法各部件的接口部分采用 Java 中的接口概念为每一个遗传算法中的部件定义了抽象接口。二进制编码、整数编码等编码方式都是实现了抽象的编码接口;默认的交叉接口和特殊的二元交叉接口实现了抽象的交叉接口;适应度函数继承了默认适应度函数抽象类。

#### 5 实验结果及分析

采用第三节所述的求解系统进行了模拟实验:城市的规模为 50,城市之间的距离随机生成,种群的最大后代数为 1000.实验结果如图 2 所示。

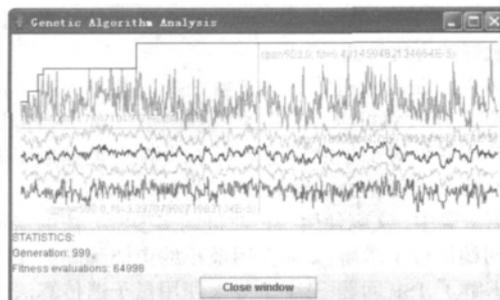


图 2 实验结果

图 2 中最上方的蓝线为进化过程中最佳适应度函数的值的变化情况,可以看到具有较好的寻优性能,在大约 300 代的时候种群趋于稳定,并达到了最佳的适应度函数值。

(下转第 19 页)

技术创新

每读取 30 个数据自动保存一次的方法。另外,在把数据导出到 Excel 过程中,由于 Excel 自身的限制,一张 Sheet 保存的数据有限,为了避免数据溢出,设计成每保存一定数据自动生成一张新的 Sheet 进行存储。

## 5 结束语

以 OPC 为接口通讯方式的数据采集模块是 PID 优化整定系统的基础,该模块及整个 PID 优化整定系统的设计都相对独立于现场工程师站,使用 OPC 通讯也只进行读操作而不进行写操作。该设计的好处是,既能使两台机器互相没有影响,又能使客户端采集到全部 DCS 数据。鉴于石油化工企业的重要性,数据采集只读不写,具有较好的安全性,可以保证原系统数据的安全和纯洁,也避免了数据错误造成的影响,保证了生产的安全。目前,PID 优化整定系统经过实验室长期检验,已经稳定的运行于国内许多石油化工企业中,且运行状况良好。

现在,绝大多数工控厂商为实现系统的开放性,其 DCS 都提供了 OPC 接口。同时,OPC 基金会也在不断推出新的产品,从 OPC DA 到 OPC XML-DA,再到 OPC UA。OPC 必然会向更为广泛的跨语言、跨平台、企业级的方向发展。

本文作者创新点:将 OPC 接口协议应用于针对石油化工企业 DCS 系统开发的 PID 优化整定系统中,实现上位机与 DCS 系统的数据交换功能。

### 参考文献

- [1]Larry Bunch, Maggie R. Breedy, Jeffrey M. Bradshaw, Marco M. Carvalho, Niranjani Suri, Andrzej Uszok, Jack Hansen, Michal Pechoucek, Vladimir Marik. Software Agents for Process Monitoring and Notification. In Proceedings of SAC 2004. pp: 94-100
  - [2]管廷杰,史建民,黄有方.OPC 技术在工业控制中的应用[J].计算机辅助工程,2005,14(3):57-59.
  - [3]OLE for Process Control. <http://www.opcfoundation.org/>
  - [4]Shimanuki, Y. OLE for Process Control(OPC) for New Industrial Automation System [A]. Systems, Man, and Cybernetics, 1999, 14 (6): 1048-1050
  - [5]罗刚.基于 OPC 技术的工业控制系统的研究与开发[D].南京:南京工业大学,2005
  - [6]刘小明,庄明,胡良兵,冯汉生.OPC 在 EAST 低温控制系统中的应用[J].微计算机信息,2008,3-1:12-13
  - [7]姜景杰.苯乙烯装置先进控制的研究与应用[D].北京:北京化工大学,2007
  - [8]李蕾,戴瑜兴.OPC 数据存取服务器的实现[J].湖南工程学院学报,2005,15(2):19-21.
- 作者简介:靳其兵(1971.10-),男,汉族,湖北宜昌;东北大学自动化专业,博士;北京化工大学信息学院教授,自动化研究所副所长;主要研究领域:先进控制及其在工业生产中的应用,智能仪器的研究及制作,企业信息化、管控一体化(包括数据库管理系统开发)。
- Biography:**JIN Qi-bing (1971.10-), Male, the Han nationality, Hubei Province, Major of Automation in Northeastern University, Doctor degree, Professor and Vice director of Institute of Automation of Beijing University of Chemical Technology. Research area: Advanced control and application of it in industrial production, research of intelligent machines, enterprise information and control integration (development of database management system is contained).
- (100029 北京市 北京化工大学自动化研究所) 靳其兵 温泉

(Institute of Automation, Beijing University of Chemical Technology, Beijing, China, 100029, China) JIN Qi-bing  
WEN Quan

通讯地址:(100029 北京市朝阳区北京化工大学 336 信箱) 温泉  
(收稿日期:2009.02.04)(修稿日期:2009.05.04)

(上接第 16 页)

## 6 结束语

针对 TSP 问题设计了基于遗传算法的求解算法,设计并实现了求解系统,给出了求解系统的体系结构,并给出了求解系统基于 Java 语言的实现机制,最后通过实验结果的分析,表明了算法具有较好的寻优性能,系统具有较好的实用性。

本文作者创新点:设计了基于遗传算法的求解算法,实现了基于遗传算法的 TSP 问题求解系统,通过实验结果的分析,表明了算法具有较好的寻优性能。

### 参考文献

- [1]Tsai Cheng-Fa, Tsai Chun-Wei, Yang Tzer. A Modified Multiple-Searching Method to Genetic Algorithms for Solving Traveling Salesman Problem [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2002, 3 (10): 6-12
  - [2]Jung S, Moon B R. Toward Minimal Restriction of Genetic Encoding and Crossovers for the Two-Dimensional Euclidean TSP [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6 (12): 557-565
  - [3]王宇平,李英华.求解 TSP 的量子遗传算法[J].计算机学报, Vol.30 No.7, pp.748-755. 2007
  - [4]戴晓明,邹润民,冯瑞,张洪源,邵惠鹤.混合并行遗传算法求解 TSP 问题 [J].电子与信息学报, Vol.24 No.10, pp.1424-1427. 2002
  - [5]刘钊,杨林权.基于遗传算法的动态 TSP 问题的研究[J].武汉科技大学学报, Vol.29 No.2, pp.155-160. 2006
  - [6]潘亮,朱华勇,沈林成,常文森.利用几何结构求解欧氏平面 TSP 的改进遗传算法 [J].国防科技大学学报, Vol.26 No.5, pp. 109-114. 2004
  - [7]李军民,林淑飞,高让礼.用混合遗传算法求解多目标 TSP 问题[J].西安科技大学学报, Vol.26 No.4, pp.515-518. 2006
  - [8]苗卉,杨韬.旅行商问题(TSP)的改进模拟退火算法[J].微计算机信息,2007,11-3:241-242
- 作者简介:代桂平,(1977-),女(汉族),山东青岛人,博士,讲师,主要研究方向为离散事件动态系统、优化算法。
- Biography:**DAI Gui-ping (1977-), Female (Han), Shandong Province, Beijing University of Technology, PH.D, Research area: Optimization Algorithm.
- (100124 北京市 北京工业大学电控学院) 代桂平  
(100124 北京市 北京工业大学计算机学院) 王勇 侯亚荣  
(College of Electronic Information & Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing, 100124, China)  
DAI Gui-ping  
(College of Computer Science & Technology, Beijing University of Technology, Beijing, 100124, China) WANG Yong  
HOU Ya-rong
- 通讯地址:(100124 北京市朝阳区平乐园 100 号北京工业大学综合楼 817) 代桂平

(收稿日期:2009.03.16)(修稿日期:2009.06.16)