

# 旅行商问题(TSP)的改进模拟退火算法

An improved Simulated Annealing Algorithm to TSP

(1.澳大利亚昆士兰大学; 2.西南交通大学) 苗卉<sup>1</sup> 杨韬<sup>2</sup>

MIAO HUI YANG TAO

**摘要:**旅行商问题是一种典型的求解多局部最优的最优化问题:有  $n$  个城市,一个旅行者从其中的一个城市出发,经过所有的城市一次并返回出发的城市,求最短的路线。在使用普通的模拟退火算法解决 TSP 时,一般采用 2-opt 算法来产生新的解空间,导致算法效率低下。本文提出引入多种算子(如:移位,交换,倒置等等)来产生新解空间。算法的分析和测试结果表明,改进后的模拟退火算法效率明显提高,在收敛性和运算结果上都有较大的进步。

**关键字:**模拟退火;旅行商问题;多种算子;最优化问题

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**Abstract:** Travelling Salesman Problem (TSP) is a typical combinatorial optimisation problem. The main idea of the problem is that given a number of cities and the distances between each city and tries to get the shortest path that visits each city exactly once and back to the starting point. In most simulated annealing algorithms, 2-opt algorithm is used to generate new path, which gives a low efficiency. This report introduces multiple arithmetic operators (e.g. transportation, switching and inversion). The result shows that the improved simulated annealing algorithm is quite more efficient than the former one.

**Key words:** Simulated Annealing; TSP, multiple arithmetic operator, combinatorial optimisation

## 引言

旅行商问题(TSP)是一种典型的组合最优化问题,计算途经  $n$  个城市的最短距离。对于城市数目为  $n$  的地图,共有  $n!$  种不同的路径。城市越多,可能的路径也越多。而且路径的增加速度非常快且是非线性的。当  $n$  很大时,去尝试每一种可能的路径是不可能的,所以需要设计一个有效的算法去寻找最短的路径。模拟退火算法是一种基于 Monte Carlo 迭代求解法的启发式随机搜索算法。模拟退火算法具有渐进收敛性,是收敛于全局最优解的全局优化算法。本文着重讨论如何提高模拟退火算法的收敛速度和效率,在短时间内可以找出最佳路径。

## 1 旅行商问题简介

旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP),也称为货郎担问题,由爱尔兰数学家 Sir William Rowan Hamilton 和英国数学家 Thomas Penyngton Kirkman 在 19 世纪提出的数学问题,它是指给定  $n$  个城市并给出每两个城市之间的距离,旅行商必须以最短路径访问所有的城市一次且仅一次,并回到原出发地,现已证明它属于 NP 难题。历史上的第一个正式用来解决 TSP 问题的算法诞生于 1954 年,它被用来计算 49 个城市的 TSP 问题。到现在为止,运用目前最先进的计算机技术可解决找出游历 24,978 个城市的 TSP 问题。由于该问题的描述简单,而实际模型在印刷电路板的钻孔路线方案、连锁店的货物配送、网络布线等优化问题中又有着广泛的应用,故长期以来一直吸引着国内外许多研究人员进行研究,他们尝试着用各种算法来求解 TSP 问题,归纳起来有:近似解法、局部搜索法、神经网络、遗传算法、克隆算法、模拟退火算法、混合遗传算法等。

## 2 模拟退火算法介绍

模拟退火算法(Simulated Annealing)最早见于 IBM 托马斯·J.沃森研究中心的 SKirkpatrick 等人的文章,他们在对组合优化进行研究后,根据迭代改进的思想提出了“模拟退火算法”,模拟退火算法具有很强的局部搜索能力。模拟退火算法来源于固体退火原理,将固体加热至充分高,再让其缓慢降温(即退火),使之达到能量最低点。反之,如果急速降温(即淬火)则不能达到最低点。加热时,固体内部粒子随温升变为无序状,内能增大,而缓慢降温时粒子渐趋有序,在每个温度上都达到平衡态,最后在常温时达到基态,内能减为最小。根据 Metropolis 准则,粒子在温度  $T$  时趋于平衡的概率为  $\exp(-E/(kT))$ ,其中  $E$  为温度  $T$  时的内能,  $E$  为其改变量,  $k$  为 Boltzman 常数。

用固体退火模拟组合优化问题,将内能  $E$  模拟为目标函数值  $f$ ,温度  $T$  演化成控制参数  $t$ ,即得到解组合优化问题的模拟退火算法:由初始解  $i$  和控制参数初值  $t$  开始,对当前解重复产生“新解 计算目标函数差 接受或舍弃”的迭代,并逐步衰减  $t$  值,算法终止时的当前解即为所得近似最优解,这是基于蒙特卡罗迭代求解法的一种启发式随机搜索过程。退火过程由冷却进度表(Cooling Schedule)控制,包括控制参数的初值  $t$  及其衰减因子  $\alpha$ ,每个  $t$  值时的迭代次数  $L$  和停止条件  $c$ 。所以我们可以通过上面的思想写出解决 TSP 问题的模拟退火算法。步骤如下:

- (1) 初始化:初始温度  $T$  (充分大),初始解状态  $s$  (随机选取一条 TSP 路线,算出走完此路线的长度  $Cost(s)$  作为评价函数,这是算法迭代的起点),每个  $T$  值的迭代次数  $L$ ;
- (2) 对  $k=1$  至  $k=L$  做第(3)至第 6 步;
- (3) 产生新解  $s$  (一般利用 2-opt 算法来产生新的路径);
- (4) 计算增量  $Cost=Cost(s) - Cost(s)$ ,其中  $Cost(s)$  为评价函数;
- (5) 若  $t < 0$  则接受  $s$  作为新的当前解,否则以概率  $\exp(-t)$

苗卉:在读硕士

T)接受 s 作为新当前解:

(6) 如果满足终止条件则输出当前解作为最优解, 结束程序。终止条件通常取为连续若干个新解都没有被接受时终止算法:

(7)  $T$  逐渐减少, 且  $T$  趋于 0, 然后转第 2 步运算。

### 3 模拟退火算法在 TSP 上的应用

### 3.1 基于 2-OPT 的普通模拟退火算法

从上一部分可知, 用 2- OPT 算法来产生新的路径, 2- OPT 算法的主要思想是在所有城市中随机选取两个城市, 然后将两个城市在路径中的序列交换位置产生新的路径。如下例: 解空间  $S$  是遍访每个城市恰好一次的所有路径, 解可以表示为  $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ,  $w_1, \dots, w_n$  是  $1, 2, \dots, n$  的一个排列, 表明  $w_1$  城市出发, 依次经过  $w_2, \dots, w_n$  城市, 再返回  $w_1$  城市。新路径的产生: 随机产生 1 和  $n$  之间的两相异数  $k$  和  $m$ , 不妨假设  $k < m$ , 则将原路径  $(w_1, w_2, \dots, w_k, w_{k+1}, \dots, w_m, w_{m+1}, \dots, w_n)$  变为新路径:  $(w_1, w_2, \dots, w_m, w_{k+1}, \dots, w_k, w_{m+1}, \dots, w_n)$ 。

### 3.2 改进的模拟退火算法

这种改进的模拟退火算法的改进之处在于引入多种算子(如:移位, 交换, 倒置等等)来产生新解空间。并且以一定的概率来决定运用哪种算子来产生新的解空间。在算子中, 倒置的主要思想是: 随机在路径中选出两个城市, 然后将两个城市之间的城市顺序完全倒置得出新的路径。如上例: 产生两相异数  $k$  和  $m$  (假设  $k < m$ ), 则将原路径  $(w_1, w_2, \dots, w_{k-1}, w_k, w_{k+1}, \dots, w_{m-1}, w_m, w_{m+1}, \dots, w_n)$  变为新路径:  $(w_1, w_2, \dots, w_{k-1}, w_m, w_{m-1}, \dots, w_{k+1}, w_k, w_{m+1}, \dots, w_n)$ 。移位的主要思想是随机选出两城市, 将两城市之间的城市统一向右移一位。例如: 随机选出城市  $w_k$  和  $w_m$  (假设  $k < m$ ), 则将原路径  $(w_1, w_2, \dots, w_{k-1}, w_k, w_{k+1}, \dots, w_{m-1}, w_m, w_{m+1}, \dots, w_n)$  变为新路径:  $(w_1, w_2, \dots, w_{k-1}, w_{m+1}, w_k, w_{k+1}, \dots, w_{m-1}, w_m, w_{m+2}, \dots, w_n)$ 。交换的思想与 2-OPT 算法相同, 随机产生两城市并将两城市交换来产生新的解空间。

#### 4 改进算法与普通算法的比较

#### 4.1 实验器材及实验数据

用来测试算法性能的 TSP 文件 berlin52.tsp 是一张具有 52 个城市的 TSP 地图, 可以从 TSP 问题的数据库中下载得到。下载 TSP 测试文件的地址为: <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/tsp/> 测试的硬件平台主要配置为 Pentium M 1.6 Ghz 处理器, 333Mhz DDR 256M 内存, 测试算法的软件选用 Matlab7.0。

## 4.2 实验结果

为准确比较两算法的效率,算法中其他的参数必须相同,由于算法要求初始温度必须充分大,所以在两算法中我们设置初始温度都为 290000,降温速率都为 0.95,迭代次数均为 1500 次。在所有参数相同的情况下,用两种算法得到的结果分别为:

2-OPT 模拟退火算法: 总路线长度为 8868.2, 运算时间为 23.11 秒。

改进的模拟退火算法: 总路线长度为 7746.9, 运算时间为 3.29 秒。

图一比较了用两种算法画出的解决 Berlin52.tsp 的路线图可以看出在相同参数条件下,改进的模拟退火算法得出的结果更优。

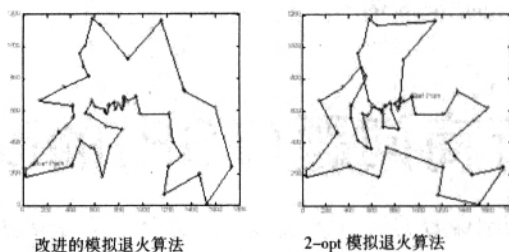


图 1 两种算法的比较

图2比较了两种算法的收敛性,可以看出:虽然在一开始的收敛速度上 2- OPT 与改进后的算法相近,但是随着迭代次数的增加,改进后的算法的收敛性明显好与 2- OPT 模拟退火算法。并且改进后的模拟退火算法消耗的时间少于 2- OPT 模拟退火算法。

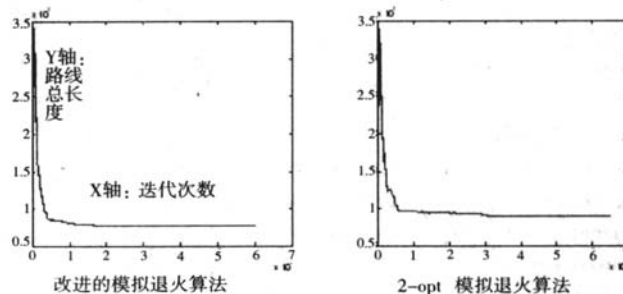


图2 两种算法收敛性的比较

### 4.3 实验结果分析

虽然两算法都可以通过加大迭代次数来得到 Berlin52.tsp 的最优解。但是从上面的结果来看,改进后的算法在运算效率、收敛性和运算时间上都优于 2-OPT 的模拟退火算法。并且我们发现,在改进的算法中调整使用移位,交换,倒置的概率对算法的效率也有影响。经过多次实验,我们总结出:在改进的算法中,以 50%的概率选择位移,25%的概率选择置换和 25%的概率选择倒置来产生新解空间可以使算法的效果比较好。通过多次实验及以下的实验数据,我们可以得出结论:用增加产生新解空间的随机性的方法改进的模拟退火算法确实可以增进模拟退火算法解决 TSP 问题的效率。

## 5 结束语

本文作者的创新点在于:改进普通的模拟退火算法解决 TSP 问题,通过增加产生新解空间的随机性的方法来改进模拟退火算法,从而求得问题的最优解。改进模拟退火算法解决 TSP 问题在对钻孔路线方案、连锁店的货物配送、网络布线,铁路网优化等问题中有着广泛的应用,所以改进和研究解决 TSP 问题算法对实际的工业生产是有重要意义的。实验结果表明,该算法性能良好。另外,初始温度、衰减因子和马尔可夫链长度等参数的控制,还需要做进一步研究。今后应在更先进的硬件平台的基础上尝试较大的 TSP 地图(上千城市规模的地图)来进一步测试算法的性能。

## 参考文献

[1]刘秋菊,王仲英,刘素华.基于遗传模拟退火算法的模糊聚类方法[J]微计算机信息,2006,2-2:270-272

[2]江加和,宋子善,沈为群,邱力为. 模拟退火算法在连续变量全局优化问题中应用. 北京航空航天大学学报[J]. 2001.10. P556-559 (下转第 236 页)

jsf输入登陆的用户名和密码,验证成功,进入main.jsf页面。

首先要引入JSF自定义标记库

```
<xmlns:h="http://java.sun.com/jsf/html"><xmlns:f="http://java.sun.com/jsf/core">
```

login.jsf页面主要代码如下:

```
<f:view id="loginid"><h:form id="login">
<h:inputText id="name" value="#{user.name}" />
<h:inputText id="password" value="#{user.password}" />
<h:commandButton action="#{loginBean.login}" value="登陆"
class="button" />
</h:form></f:view>
```

#### 4.4 工作方式

当表单提交时,JSF要求Seam提供user变量。Seam实例化user组件,并且在将其保存在Seam session环境后返回user实体的实例到JSF。接下来,JSF执行EL(Express Language)如#{loginBean.login}通过Seam loginBean这个无状态会话bean,引入login()监听方法。

Seam截获调用的方法,在Hibernate validate验证session bean实例之前从session环境中注射user实体,和当前Face-Context实例。如果状态是合法的,则处理的方法login()被调用,如果非法,Seam将返回一个空的结果,JSF重新显示该页。

## 5 Seam架构优势和发展前景

(1) 基于EJB的开源:EJB3.0是有着细粒度annotation的轻量级POJO。在Seam中,所有的东西都是EJB。此外,Seam消除了表现层组件和业务逻辑组件的差异。

(2) 基于AJAX的远程层:Seam远程允许EJB 3.0 session bean在web浏览器中通过Ajax调用。Session beans隐藏了XML序列化和XMLHttpRequest API的复杂性。

(3) 富状态应用程序:Seam提供了多种富状态的不同粒度上下文,从对话范围到业务过程,将开发者从HTTP session中解放出来。

(4) 过程驱动应用程序:Seam通过JBPM透明集成了业务过程管理,实现复杂的工作流和页面流将变得非常简单。

Seam是一种优秀的J2EE MVC架构方式,为开发隐藏了复杂的配置,Seam消除了表现层组件和业务逻辑组件的差异。Seam将JSF和EJB3.0很好的粘合在了一起,并且Seam集成了jBPM和ajax、依赖注入、annotation等,重新定义Web应用结构,是真正把它的各方面的先进的技术整合在一起的框架,虽然它现在很年轻,会有很好的应用前景。

## 6 结束语

本文作者创新点:采用EJB3.0作为后台O/R MAPING一个持久层框架的组件,对持久层进行了轻量级封装,降低了程序的复杂度,减轻程序员的负担,具有很强的扩展性;采用JSF制作基于java的服务器端UI框架,开发富有表现力的用户界面。

#### 参考文献

- [1]Seam org. Seam Project[EB/OL]. <http://labs.jboss.com/portal/jbossseam> 2006.10:60-61
- [2]Seam org. Seam Project [EB/OL]. <http://labs.jboss.com/portal/jbosseb3> 2006.1:13-20
- [3]王冠宇. 赵冬生.在J2EE应用程序中整合jsf与STRUTS[J]微计算机信息,2006.6-262:22-33.

[4]谢运佳.王会进.一种轻量级的J2EE解决方案及其应用[J]微计算机信息 2006.9-223:22-27.

[5]Hans Bergsten.JavaServer Faces[M]. O'Reilly, 2004. 12-14  
作者简介:刘觉夫(1963-),男(汉),湖南岳阳,华东交通大学教授,主要研究方向:地理信息系统,数据挖掘;刘高原(1980-),男(汉),江苏徐州,华东交通大学硕士研究生,主要研究方向:web服务,企业信息化;张国平(1980-),男,江西南昌,华东交通大学硕士研究生,研究方向:信息安全,电子政务。

Biography:Liu Juefu (1963-), man(Han nationality),Jiangxi,East China Jiaotong University, Professioner, GIS,Data mining. (330013 南昌 华东交通大学信息工程学院) 刘觉夫 刘高原 张国平

(School of Information Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013)Liu Juefu Liu Gaoyuan Zhang Guoping

通讯地址:(330013 南昌 南昌华东交通大学信息工程学院) 刘觉夫

(收稿日期:2007.8.03)(修稿日期:2007.10.05)

(上接第242页)

[3]魏延,谢开贵. 模拟退火算法. 蒙自师范高等专科学校学报[J]. 1999.8. P7-11

作者简介:苗卉,(1981.4.8-),湖北武汉人,就读于澳大利亚昆士兰大学计算机系统硕士专业,研究方向:计算机操作系统结构,调度算法。目前课题:微内核操作系统的实用性;杨韬,(1983.11.5-),湖北荆州人,就读于西南交通大学电气工程硕士专业,研究方向:调度算法。

Biography:Miao Hui ,Male, the Han nationality, born in April, 1981, Hubei Province, an Mater of Computer System in Information Technology and Electrical Engineering School in Queensland University in Australia. Research Area: Optimisation Algorithm, Operating System Architecture, Current Project: Practicality of Microkernels.

(4068 澳大利亚 昆士兰大学) 苗卉

(610031 湖北 西南交通大学)杨韬

(4068 University of Queensland)Miao Hui

(610031 Southwest Jiaotong University)Yang Tao

通讯地址:(430063 湖北省 武汉市武青三干道 平安花园 4 栋一单元 702 号)苗卉

(收稿日期:2007.8.03)(修稿日期:2007.10.05)

## 书 讯

《PLC 应用 200 例》

110 元 / 本(免邮资) 汇至

《嵌入式系统应用精选 200 例》

110 元 / 本(免邮资) 汇至

地址:北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室  
微计算机信息杂志收 邮编:100081  
电话:010-62132436 010-62192616(T/F)