

文章编号: 1009-6744(2007)05-0102-04

系统工程理论与方法

一种改进模拟退火的配送路线选择算法

臧学运, 谢 祥, 关忠良

(北京交通大学 经济管理学院, 北京 100044)

摘要: 合理的配送路线可以提高物流配送的效率。启发式的最优路径选择方法是目前研究的热点, 针对模拟退火算法收敛速度慢的缺点, 提出采用退火过程的导引知识(即上次退火过程节点的分布情况)作为下次选择节点的依据, 从而提高模拟退火算法的速度。分别针对不同的配送节点进行实验, 结果表明, 基于导引知识的模拟退火算法能够获得更快的收敛速度, 更快得到最优解。

关键词: 配送路线; 模拟退火算法; 导引知识; 物流

中图分类号: U491

文献标志码: A

An Improved Simulated Annealing Algorithm for Delivery Route Selection

ZANG Xue-yun, XIE Xiang, GUAN Zhong-liang

(School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Rational delivery route can improve the efficiency of logistics distribution. Optimal route selection method based on heuristic algorithm is a research hot in recent years, aiming at the slow convergence rate of traditional simulated annealing(SA) algorithm, this paper brings out an improved algorithm which uses guiding knowledge generated by last SA procedure as the basis to select the nodes at next simulation, this method can improve the speed of SA algorithm. Test our method with different delivery node, results show that improved SA algorithm based on guiding knowledge can obtain faster convergence rate and get the better optimal solution.

Key words: delivery route; simulated annealing algorithm; guiding knowledge; logistics

CLC number: U491

Document code: A

0 引言

物流配送作为一种专业化、社会化的服务模式, 适应了经济一体化的需要和社会化大生产的发展, 体现了现代经济的发展趋势, 所以越来越受到人们的重视。配送是物流的关键环节, 配送方法的

好坏直接影响物流效益。合理选择配送路径, 对加快配送速度、提高服务质量、降低配送成本以及增加经济效益都有很大影响, 因此建立科学、合理、高效的物流配送体系显得尤为重要, 需要在物流配送的各个环节加以优化和改进。

收稿日期: 2007-06-27

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划(NCET-05-0095)。

作者简介: 臧学运(1963—), 男, 山东日照人, 北京交通大学经济管理学院博士生, 主要研究方向为现代管理理论与方法。E-mail: zangxy@cttcq.com

配送路线选择问题是在配送中心的配送区域确定以后,对某个配送中心每次配送的要求所制定的配送路线的选择方案.模型建立的原则是使得确定的配送路线总费用最低.求解物流配送路径优化问题的方法有很多,常用的有旅行商法、动态规划法、节约法、扫描法、分区配送法、方案评价法等^[1,2].这些方法的缺点是当问题的规模较大时,很难得到全局最优解或满意解.而且随着问题规模的增大,算法的计算时间将以指数速度增加.因此研究的重点就转移到各种启发式算法上.

模拟退火算法的出现,为配送路线选择问题提供了新的工具.近年来,Osman、Alex Van、Teodorovic、蔡延光、刘浩等人都曾利用模拟退火算法求解路径问题^[3],并取得了很多研究成果.笔者发现,要使模拟退火法一次就求出整体的最佳解是非常困难的,在一次次的模拟计算中,绝大多数的实验结果总是得到能量较高的亚稳态解,这些亚稳态解之间有一定关联性.可以用上一代有用的信息来导引下一代的搜寻过程,这种用来引导下一代的搜寻过程的,上一代所共有的有用信息,以一种函数形式来表现,我们称它为导引函数(guiding function),本文将在导引函数基础上使用一种导引模拟退火法(Guided Simulated Annealing)求解物流配送的最短路径.

1 物流配送的基本模型

物流配送路线的最优问题可以描述为:设某配送中心负责向 m 个顾客点($i = 1, 2, \dots, m$)送货,假设配送中心货物存储量等于 m 个顾客货物需求量总和.确定如何安排配送路线,使送货费用最低.

定义变量如下:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若弧}(v_i, v_j) \text{在路上} \\ 0, & \text{否} \end{cases}$$

则得到以下模型^[4]:

$$\begin{aligned} \min z &= \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m C_{ij} x_{ij} \\ \text{s. t.} &= \begin{cases} \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, j = 0, 1, \dots, m \\ \sum_{j=0}^m x_{ij} = 1, i = 0, 1, \dots, m \\ X = x_{ij} \in R \\ x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 \end{cases} \end{aligned} \tag{1}$$

其中 C_{ij} 表示顾客 v_i 到顾客 v_j 的运输费用,且 $C_{ij} = M(i = 1, 2, \dots, m)$, R 为支路消去约束,即消去构成不完整支路的解, R 通常表示为

$$R = \{ (x_{ij}) \mid \sum_{i \in Q} \sum_{j \notin Q} x_{ij} \geq 1, Q \subset \{0, 1, 2, \dots, m\} \}$$

2 模拟退火算法简介

模拟退火算法是局部搜索算法的扩展,它与局部搜索的区别在于:它以一定的概率选择领域中目标函数值差的状态^[4,5].从理论上来说,它是一个全局最优算法.模拟退火算法是解决 TSP 问题的有效方法之一,其最初的思想由 Metropolis 在 1953 年提出, Kirkpatrick 在 1983 年成功地将其应用在组合最优化问题中.模拟退火算法来源于固体退火原理,将固体加温至充分高,加温时,它的所有分子在其状态空间中自由移,固体内部粒子随升温变为无序状,内能增大.再让其徐徐冷却,而徐徐冷却时粒子渐趋有序,在每个温度都达到平衡态,最后在常温时达到基态,内能减为最小.

选择最优配送路线的问题可以描述如下:设有 n 个配送点,用数码 $1, \dots, n$ 代表.配送点 i 和配送点 j 之间的距离为 $d(i, j)$, $i, j = 1, \dots, n$.要找遍访每个配送点恰好一次的一条回路,且其路径总长度为最短,这条回路就是最优的配送路线.求解最优配送路线的模拟退火算法模型可描述如下:

解空间:解空间 S 是遍访每个配送点恰好一次的所有回路,是 $\{1, \dots, n\}$ 的所有循环排列的集合, S 中的成员记为 (w_1, w_2, \dots, w_n) ,并记 $w_{n+1} = w_1$.初始解可选为 $(1, \dots, n)$.

目标函数:此时的目标函数即为访问所有配送点的路径总长度或称为代价函数.

新解的产生:随机产生 1 和 n 之间的两相异数 k 和 m ,若 $k < m$,则将 $(w_1, w_2, \dots, w_k, w_{k+1}, \dots, w_m, \dots, w_n)$ 变为 $(w_1, w_2, \dots, w_m, w_{m-1}, \dots, w_{k+1}, w_k, \dots, w_n)$ 如果是 $k > m$,则将 $(w_1, w_2, \dots, w_k, w_{k+1}, \dots, w_m, \dots, w_n)$ 变为 $(w_m, w_{m-1}, \dots, w_1, w_{m+1}, \dots, w_{k-1}, w_n, w_{n-1}, \dots, w_k)$.上述变换方法可简单说成是“逆转中间或者逆转两端”.也可以采用其他的变换方法,有些变换有独特的优越性,有时也将它们交替使用,得到一种更好方法.

温度参数是模拟退火算法的关键,主要包括起始温度的选取、温度的下降方法和停止温度的确定等.

(1) 起始温度的选取.

初始温度值的设置是影响模拟退火算法全局搜索性能的重要因素之一. 初始温度高, 则算法搜索到全局最优解的可能性大, 但因此要花费大量的计算时间; 反之, 则可节约计算时间, 但全局搜索性能可能受到影响. 实际应用过程中, 初始温度一般需要依据实验结果进行若干次调整.

(2) 温度下降方法.

温度管理也是模拟退火算法难以处理的问题之一. 在邻域搜索过程中, 当解的质量变差的概率呈 Boltzmann 分布时, S. G eman 和 D. G eman 从理论上证明了采用(1)式所示的对数降温方式可使模拟退火算法收敛于全局最优解.

$$t(k) = K/\log(1+k) \tag{2}$$

式中 K 为正的常数, k 为下降次数.

(3) 每一温度迭代长度规则.

模拟退火算法的全局搜索性能也与每一温度的迭代长度密切相关. 一般来说, 同一温度下的“充分”搜索(退火)是相当必要的, 但这需要付出计算时间增加的代价. 实际应用中, 要针对具体问题的性质设置合理的迭代长度.

(4) 算法的终止原则.

模拟退火算法从初始温度开始, 通过在每一温度的迭代和温度的下降, 最后达到终止准则而停止.

3 基于导引知识的模拟退火方法

模拟退火算法求解最优路径的算法比较耗时, 很难在短时间内就求出最优解, 但是随着温度的迭代, 该方法可以很快求解出很多亚稳态解, 这些亚稳态解中隐含了很多信息, 这些信息可用来帮助下一代的搜寻过程⁹. 一般可以使用统计方法来分析亚稳态解的性质, 从而分析这些解中隐含的信息, 这就是基于导引知识模拟退火方法的基本思想, 下面介绍该方法的操作步骤.

第 1 步 利用传统模拟退火法得到第 1 组亲代. 由于我们用了很快速的退火策略, 所以第 1 组亲代群体, 没有找到整体极小值.

第 2 步 分析第 1 组节点序号选中的次数作为导引知识.

第 3 步 利用加入导引知识的退火过程得到子代. 有了导引知识后, 我们就可以用它来帮助下一代群体的产生. 导引知识的使用方法如下:

① 与传统模拟退火法不同, 我们不再随机地选择变数并随机地改变变数. 在导引模拟退火法的操作中, 节点序号的选择机会与该序号所具有的导引知识成反比, 也就是在许多节点中, 越与上一代整体特征不符合的变数越容易被挑选到. 这个步骤也可以表示为

$$P_{sel}(i) \propto 1/\rho(x_i) \tag{3}$$

其中 $P_{sel}(i)$ 表示第 i 个变数被挑选的概率.

② 挑选了节点序号之后, 节点的改变与该节点的导引知识成正比, 也就是该节点较会被改变到导引知识多的区域中. 这个步骤表示为

$$P_{mov}(x_i) \propto \rho(x_i) \tag{4}$$

其中 $P_{mov}(x_i)$ 表示变数 i 被移动到位置 x_i 的概率.

③ 接下来与传统模拟退火法相同, 用波兹曼概率分布函数来决定移动成功与否.

第 4 步 分析子代群体的变数分布作为新的导引知识. 然后并回到前一步, 直到世代次数到达限定值或目标函数值收敛到某一个极值.

4 算法实例

作者选取 48、51、56、63 个配送点城市作为算法实例, 分别采用传统模拟退火算法和基于导引知识的模拟退火方法进行最短路径的求解. 设节点数为 CityNumber, 节点之间的最大距离为 maxdis, 最小距离为 mindis, 则初始温度选择 $CityNumber \times (maxdis - mindis) \times 20$. 图 1 给出了两种算法的效率比较, 图 2 显示了 48 个配送节点用传统模拟退火给出的配送路线图, 图 3 给出 48 个配送节点用改进模拟退火给出的配送路线图.

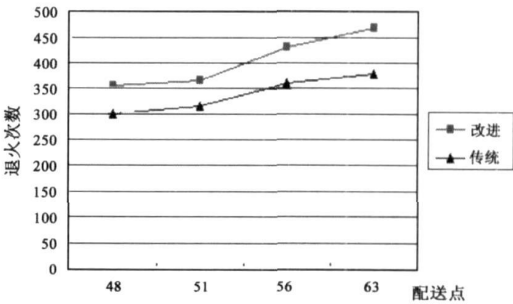


图 1 传统模拟退火与改进模拟退火效率比较

Fig. 1 Efficiency comparing of traditional and improved SA algorithm

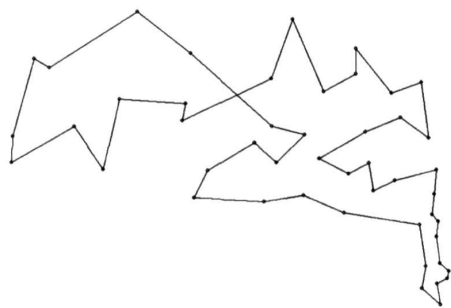


图2 传统模拟退火 48 节点求解结果

Fig. 2 Result of 48 nodes by traditional SA algorithm

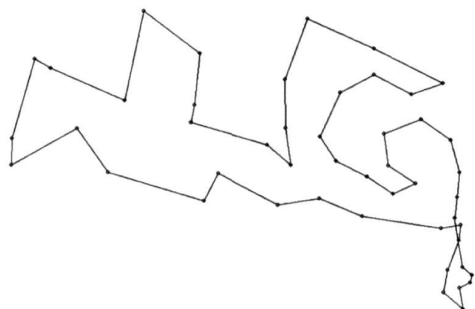


图3 改进模拟退火 48 节点求解结果

Fig. 3 Result of 48 nodes by improved SA algorithm

5 结束语

物流配送中, 配送路线的选择对于企业配送车辆的调度是非常重要的, 优化的配送路线能够最大程度的提高车辆利用率, 降低运输成本, 提高配送效率, 是企业利润的源泉之一. 本文在传统模拟退火方法的基础上引入了一个新的性质, 即导引知识. 它的优点主要表现在两个方面, 首先该方法能够充分利用上次退火过程隐含的知识指导下次退火过程的求解, 能使求解过程不易陷入局部极小; 其次, 导引知识可以有效地去掉不相关的自由度, 使搜寻范围逐渐减少, 进而加速搜寻效率. 又因为我们所得到的每一个子代都是由各自独立的退火过程产生, 可大幅加强计算效率.

对于某些问题, 我们可能用其他的方法预测解

的大致范围. 也就是说, 已经有了一些粗略的导引知识. 在这种情形下, 导引模拟退火法很容易与其他方法配合使用, 例如用其他数值或实验方法先取得粗略的导引知识, 再用本法做进一步的计算, 找出更精确的解.

参考文献:

- [1] 王之泰. 现代物流学[M]. 北京: 中国地质出版社, 2003. [WANG Zhi-tai. Modern Logistics[M]. Beijing: China Geology Publishing House, 2003(in Chinese).]
- [2] 刘凯. 现代物流技术基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2004. [LIU Kai. Introduction to Modern Logistics Technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press Beijing Jiaotong University Press, 2004 (in Chinese).]
- [3] 王丰元, 潘福全. 基于交通限制的路网最优路径算法[J]. 交通运输工程学报, 2005(1): 92—95. [WANG Feng-yuan, PAN Fu-quan. Optimal path algorithm of road network with traffic restriction[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005(1): 92—95(in Chinese).]
- [4] 马坤, 于海平, 彭启山. 改进的遗传模拟退火算法在TSP中的应用[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2006, 29(3): 266—269. [MA Kun, YU Hai-ping, PENG Qi-shan. Application of improved genetic simulated annealing algorithm in traveling salesman problem[J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2006, 29(3): 266—269(in Chinese).]
- [5] 黄樟灿, 陈思多, 康立山, 等. 基于模拟退火算法的曲面最短路径问题求解[J]. 武汉大学学报(自然科学版), 2000, 46(3): 273—276. [HUANG Zhang-can, CHEN Si-duo, KANG Li-shan. Solving the shortest path on curved surface based on simulated annealing algorithm[J]. Wuhan University Journal (Natural Science Edition), 2000, 46(3): 273—276(in Chinese).]
- [6] 李世炳, 郑忠毅. 简介导引模拟退火法及其应用[J]. 物理双月刊, 2002, 24(4): 307—319. [LI Shi-bing, ZHENG Zhong-yi. A brief introduction to simulation anneal method and its applications[J]. Physics Bimonthly, 2002, 24(2): 307—319(in Chinese).]