

文章编号: 1003-1421(2003)02-0049-03 中图分类号: TB114.1 文献标识码: A

用蚁群算法求解类 TSP 问题的研究

Study on Ant Colony System Applied to Quasi-TSP

赵清江, 邵之江, 钱积新

ZHAO Qing-Jiang, SHAO Zhi-Jiang, QIAN Ji-Xin

(浙江大学 系统工程研究所, 浙江 杭州 310027)

(Institute of System Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

摘 要: 铁路运输调度问题能否很好解决对于铁路运输公司至关重要, 旅行商问题 (简称 TSP) 经常被用来研究运输调度问题。根据某化工集团铁路运输公司的生产实际, 提出了“类 TSP”问题, 但由于“类 TSP”和 TSP 有很大区别, 以前求解 TSP 的优化算法不能直接用于“类 TSP”的求解。利用蚁群算法是可以较好解决 TSP 的一类新型模拟进化算法, 适应“类 TSP”的要求, 并通过“蚁后规则”和变异机制的引入, 提出了一种改进的人工蚁群算法。计算机仿真结果表明该算法求解“类 TSP”是行之有效的。

关键词: 蚁群系统; 铁路运输调度; 蚁后规则; 变异机制

Abstract: Railroad transportation scheduling problem is a common problem for all the railroad transportation companies and severely has direct and strong impacts on the profits. A quasi traveling salesman problem (Quasi-TSP) from the railroad transportation subsidiary company of a large petrochemical corporation is presented in this paper. Quasi-TSP is similar to the traveling salesman problem (TSP), which is often used to study the transportation-scheduling problem. However, previous algorithms to solve TSP are not very suitable for Quasi-TSP and need to be improved. In this paper, the ant colony algorithm (ACA), a good algorithm for TSP, is developed to solve Quasi-TSP. A queen ant rule proposed in this paper and a mutation mechanism using 2-exchange method are adopted in the algorithm. Numerical experiment shows the validity and the high efficiency of the improved ACA when applied to Quasi-TSP.

Keywords: ant colony algorithm; railroad transportation scheduling; queen ant rule; mutation mechanism

在运筹学中, 旅行商问题 (Traveling Salesman Problem, 以下简称 TSP) 又称为货郎担问题被认为是一个标准问题^[1]。所谓 TSP 问题是指: 有 N 个城市, 要求旅行商到达每个城市各 1 次, 且仅 1 次, 并回到起点, 要求旅行路线最短^[2]。TSP 的研究在现实中有很大的实用价值。例如交通运输的很多问题都可以抽象成 TSP 来求解。然而对一

些现实交通运输问题, 由于约束条件增加, 理论上的 TSP 研究都很难应用到生产实际中去。

1 问题的提出

有一特大型化工企业集团的储运厂担负乙烯新区产品的储存、出厂和原材料进厂的任务。拥有储罐 55 座, 容量 6.5 万 m^3 , 铁路专用线 55 km, 内燃

机车 7 台, 自备铁路车辆 1 162 台, 年运输能力超过 380 万 t。但由于车辆太多, 实际运输量只占运输能力的 1/3 左右。为了增强企业的市场竞争能力和增加利润, 同时也为了充分利用闲置的运输能力, 集团公司决定储运厂在完成内部运输任务的前提下可对外开展第三方物流。这就要求储运厂不但能完成集团公司产品和原料的运输, 还要在此基础上根据第三方客户的需求完成各种类型的运输任务。

在这个问题中, 如何合理安排每一列车的运输任务和路线是影响储运厂效益的决定性问题。如能较好地解决这类运输调度问题, 对于储运厂和类似的物流公司都有很大的现实意义。

这是一个典型的车辆调度问题, 即要根据已有的运输计划和即时出现的运输任务, 对储运厂组织的每一列车进行路径选择及相应运输计划的安排。该问题不仅仅是一个最短路径搜寻问题, 它具有一些 TSP 问题所不具有的约束特性。为了便于描述和进一步的研究, 将其定义为“类 TSP”问题。

“类 TSP”问题是指: 给定 N 个城市集合, 其中在多个城市之间存在多个不同类型的运输任务。一列火车从某个城市出发, 选择完成不同的运输任务, 最后回到出发城市, 要求列车的运输利润最高。“类 TSP”和 TSP 相比具有以下特点:

(1) 非遍历。列车的目的不是遍历每个城市, 而是为了获取最大利润。

(2) 路径重复。列车在走行过程中

可以有路径重复。

(3) 任务时间窗。每一项任务都有最晚完成期限。

(4) 旅行时间限制。列车的总走行时间有限制。

对于(4),由于铁路车辆有3种维修方式:厂修、段修、辅修,如果任一种维修方式到了维修期限,任一铁路局都可以将这辆车扣修。这样就使得运输成本增加,因而加了这个约束条件。

分析“类TSP”和TSP问题的不同,关键在于路径经过的城市数目不确定。这主要因为:非遍历和路径重复。利用改进的人工蚁群算法可以较好地解决这些问题。

2 算法设计

2.1 人工蚁群算法基本原理

人工蚁群算法是一种新型的模拟进化算法。该算法由意大利学者 M. Dorigo、V. Maniezzo、A. Colorini 等首先提出^[1],称之为蚁群系统(Ant Colony System,简称ACS),并应用该算法求解 TSP 问题、分配问题、job-shop 调度问题,取得了较好的结果。

人工蚁群算法是受到对真实蚁群行为研究的启发而提出的。蚂蚁在运动过程中,能够在它所经过的路径上留下一一种称之为外激素(pheromone)的物质进行信息传递,而且蚂蚁在运动过程中能够感知这种物质,并以此指导自己的运动方向,因此由大量蚂蚁组成的蚁群集体行为便表现出一种信息正反馈现象:某一路径上走过的蚂蚁越多,则后来者选择该路径的概率就越大。

蚁群算法与其他模拟进化算法一样,通过候选解组成的群体进化过程来寻找最优解。以求解TSP为例,其工作过程为:首先将 m 只蚂蚁按照一定的规则(例如随机)分布在 n 个城市,然后每一只蚂蚁寻找出一条可行路径并进行局部信息更新(the local updating rule),最后寻出所有蚂蚁找到的最好路径进行全局信息更新(the global updating rule)^[4]。

2.2 改进的人工蚁群算法

根据“类TSP”问题的求解要求和基本蚁群算法的特点,作如下改进。

(1) “类TSP”问题不是遍历问题。因此每只蚂蚁的搜索城市范围要改变:首先,每只蚂蚁的搜索中止条件不再是所有城市都经过,而是回到原来出发城市即可。其次,每只蚂蚁搜索的城市不再是未经过的城市,而是蚂蚁所在城市的相邻城市,这样就可能出现重复路径。

(2) 蚁群算法最大的缺陷就是需要较长的搜索时间^[5]。针对这个问题对基本蚁群算法作下面的改进:提出的具有变异特征的蚁群算法^[6],对具体变异方式根据“类TSP”问题的需要作一些变化。依然采用逆转变异方式,改变变异适应条件。

设某个个体所走路径为:

$i_0 i_1 i_2 \cdots i_{j+1} \cdots$, 如果满足 $Z(i_0 i_1 i_2 \cdots i_{j+1} \cdots) < Z(i_0 i_1 i_2 \cdots i_{j+1} \cdots i_{j+1} \cdots)$

其中 $Z(i_0 i_1 i_2 \cdots i_{j+1} \cdots)$ 表示路径 $i_0 i_1 i_2 \cdots i_{j+1} \cdots$ 可以带来的旅行收入。

这种变异的次数具有一定的随机性。也就是说虽然不知道每条路径的变异次数多少,但基本是路径越长变异次数越多。经过这种变异算子作用,迭代的性能会有明显改善,从而改善整个群体的功能,减少计算时间^[6]。

(3) 在有重复路径的情况下,基本蚁群算法在某些点是不可能收敛的。因为由一个城市出发的多条路径上的信息量是基本相等的,蚂蚁在搜寻这些路径时只能等概率选择,这样就会在某些点表现出震荡特性,必须在计算过程中加入人为干预,即蚁后规则。

蚁后规则:当蚁群算法在计算中出现某些城市到某些相邻城市的信息量总是基本相等,单纯靠信息量累积无法收敛到某一条路径时,在算法中加入人为干预。在每个蚁群得到的所有路径中去掉那些可行但旅行收益不好的路径,只保留当前的最好路径。如果后来的蚁群得到的路径更好,则用其替换以前的最好路径。从而使不收敛现象只局限于一只蚂蚁建立可行路径的过程中,对于每个蚁群则表现出收敛特性。这就好像每一群蚂蚁都有一个蚁后综合所有蚂蚁的信息,然后选择一条当前

最好的路径行走,即蚁后只能走当前最好的路径,故称为蚁后规则。

通过以上措施,“类TSP”的非遍历和重复路径问题都在算法中得到了解决。任务时间窗和旅行时间限制对解的约束体现在对得到解的仿真计算方面。

3 模拟试验

对于上述“类TSP”问题,根据储运厂铁路运输的例子来说明这个问题的求解情况。图1为5个城市的网络图(顶点表示城市编号)及相互间距离(km)。现有表1所示的4项可选运输任务。现在要确定所要执行的运输任务以及相应的路线安排。即1列火车从城市1出发在5个城市间执行其中的某几项运输任务,最后回到出发城市1,要求得一条路径和相应的运输任务安排,使

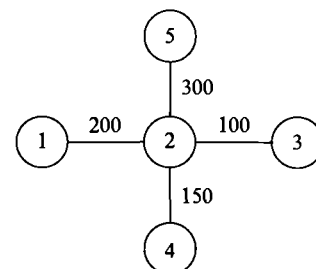


图1 5个城市网络图

得这列火车的运输收益最大。

该问题具有如下特点:

(1) 存在重复路径。因为要完成任何运输任务,城市1和2之间的路径都会重复经过。

(2) 每项任务都有最后完成期限,如果推迟要交付罚金,这类似于任务时间窗。

(3) 基于效益最大化原则,不一定要承接所有的运输任务。

表1 运输任务信息

序号	起止城市	货物量	货物类别
1	1-4	100	A
2	2-3	60	B
3	1-5	200	C
4	3-2	80	D

3.1 解的结构

解由两部分组成:

X ——得到的路径;

Y ——相应的任务安排。

$X=(1 \quad 2 \quad 3 \quad 2 \quad 4 \quad 2 \quad 1)$

$Y=\begin{bmatrix} 100 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 60 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 80 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

X 表示旅行商旅行路径, x_i 表示列车所经过的城市,则上述 X 表示路径 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$

Y 表示运输计划,执行依次对应任务1、2、3、4。 y_{ij} 表示列车在执行第 i 项任务时,在城市 x_i 所携带的货物量。例如第1行表示列车在城市1装上100单位货物A,到城市4卸下。

4.2 约束条件处理

(1) 列车信息:假设列车匀速运行。另外还包括车辆到期维修期限、维修耽搁时间和产生的费用等。这些信息都体现在得到一条路径后的运输收益计算中。例如车辆在外滞留时间超过到期维修期限,则会被强制扣修,导致时间耽搁和维修费用的产生。

(2) 任务信息:包括每项运输任务的理论运输成本及收益、最晚完成期限、推迟完成需要交付的罚金等。这些信息都在运输收益的计算过程中得到体现。

(3) 假设火车运力足够。

(4) 限于篇幅,在不影响问题说明的基础上,上述信息数据不再列举。

4.3 计算过程

蚂蚁数目分别为3、10。给定的总迭代次数为50,信息衰减率0.9,信息增加速度为收益增量 $\times 7 \times 10^{-7}$,收敛条件是连续5次迭代的最佳路径无变化。

程序在Matlab环境下编写,分成3部分:路径搜索、任务生成和仿真计算。路径搜索采用改进后的蚁群算法,得到 x ,任务生成是根据搜索到的路径生成一个合理的运输任务,即得到 y ,仿真计算包括收益计算、成本计算、罚金计算、维修费用计算,根据 x 和 y 计算出每次的旅行收入 z 。另外还编写了加入“蚁后规则”的基本蚁群算法程序,以便于计算结果的比较。

首先,用穷举的方法求得问题的最优解如下:

$X=(1 \quad 2 \quad 3 \quad 2 \quad 4 \quad 2 \quad 1)$

$Y=\begin{bmatrix} 100 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 60 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 80 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

然后,分别用基本蚁群算法(带蚁后规则)和改进蚁群算法计算10次得到表2的计算结果。

4.4 计算结果分析

表2 改进算法和基本算法的比较

算 法	最快收敛 迭代次数	最慢收敛 迭代次数	平均收敛 迭代次数
改进算法 (蚂蚁数10)	2	7	3.8
基本算法 (蚂蚁数10)	3	19	8.6
改进算法 (蚂蚁数3)	2	20	8.4
基本算法 (蚂蚁数3)	3	43	17.7

首先,计算结果表示没有承接表1中的第3项运输任务,说明完成此项运输任务会因为影响其他运输任务的完成时间,以及会使火车维修费用增加,从而导致总体运输收益下降,故不能承接这项运输任务。

其次,计算结果表明完成运输任务的最好顺序:先完成第1项,然后完成第2项,最后完成第4项任务。这是由每项运输任务的最晚完成期限和所带来的收益,以及由此产生的成本决定的。

另外,由计算结果可以看出改进后的蚁群算法具有更好的收敛速度。蚂蚁数目对于这类问题的求解有较大影响,如果蚂蚁数目太少则收敛性能会迅速下降,这是因为重复路径导致某个城市会有多个等概率的选择路径,只有蚂蚁数目在概率选择上基本覆盖这些路径时才会表现出较好的收敛性,但蚂蚁数目太多会影响计算速度,因此要根据具体问题确定蚂蚁数。几种情况下的最快收敛迭代次数基本一样,因为蚂蚁进行的是概率搜索,只要足够的计算次数,就可能在某一次快速找到最优解。

5 总结

“类TSP”问题是运输调度中实际存在的问题,具有自己的鲜明特点:NP

完全性(NP Completeness是计算复杂性理论中的一个重要概念,它表征某些问题的固有复杂度。一旦确定一类问题具有NP完全性时,就可知道这类问题实际上是具有相当复杂程度的困难问题。)、重复路径、任务时间窗、非遍历等,难于用通常求解TSP的方法解决。通过变异机制和“蚁后规则”的引入,改进的人工蚁群算法较好解决了这个问题。

基于“类TSP”问题,进一步可以提出“类MTSP”问题,即多个旅行商从相同或不同城市出发执行一系列的运输任务,使所有旅行商最后得到的综合路径收益最佳。同样具有NP完全性、重复路径、任务时间窗、非遍历等特点。“类MTSP”比“类TSP”在现实中的应用范围更加广泛。

参考文献:

- [1] 党建武. 神经网络技术及应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000.
- [2] 胡守仁, 沈清, 等. 神经网络应用技术[M]. 北京: 国防科技大学出版社, 1993.
- [3] A. Colomi, M. Dorigo, and V. Maniezzo. "An investigation of some properties of an ant algorithm," Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature Conference (PPSN 92), 1992, R. M. Manner and B. Manderick (Eds.), Elsevier Publishing, pp. 509—520.
- [4] Dorigo M. & L. M. Gambardella. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53—66.
- [5] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. Ant system: An autocatalytic optimizing process. Tech Rep: 91—016, 1991
- [6] 吴庆洪, 张纪会, 徐心和. 具有变异特征的蚁群算法[J]. 计算机研究与发展, 1999, 36 (10).

收稿日期: 2002—09—23

修回日期: 2002—12—23

责任编辑: 王学智