

文章编号:1003-6199(2008)03-0007-05

一种新的基于最小生成树的物流配送优化路线算法

杨跃武

(佛山科学技术学院 机电与信息工程学院,广东 佛山 528000)

摘 要:提出一种基于树理论算法的物流配送线路优化决策,首先将复杂的道路网转化成最少生成树并建立优化转移策略,开发由最少生成树构造最小生成树的算法,通过对最小生成树进行标记的方法最后得到最优路径,使物流配送的周转总量最小。算法用 Jbuilder 9 开发,运行表明所提出的算法是有效的,简化以往算法的复杂程度。

关键词:物流配送;最小生成树;配送节点;配送线路;车辆路径问题(VRP)

中图分类号: TP181

文献标识码: A

A New Algorithm for Vehicle Routing Problems with Capacity Limited Based on the Minimum Spanning Tree

YANG Yue-wu

(College of Electromechanics & Information Engineering, Foshan University, Foshan 528000, China)

Abstract: An optimized strategy is proposed to investigate the vehicle routing problems. We build here a description of the routing net with minimum spanning trees and decision to search the nearest approach. An algorithm is developed to obtain minimum spanning from spanning trees. By dotting the minimum spanning tree, we obtain the optimized route such that the cycle capacity keeps minimum. The corresponding algorithm is realized with Jbuild 9, which shows that our algorithm proposed here is valid and concise, and simplifies the complexity of previous results.

Key words: distribution delivers; the minimum spanning tree; distribution node; distribution routing; vehicle routing problem (VRP)

1 引 言

现代物流作为一种先进的组织方式和管理技术,被广泛认为是企业在降低物资消耗、提高劳动生产率以外的重要利润源泉^[1],因此研究在现有物流系统中应用计算机技术,对货物、服务以及相关信息由原产地到消费地的高效流通和储存,进行有效的规划、执行和控制,对降低物流系统的运行成本,具有重要的理论价值和现实意义。

物流学的研究内容包括选址问题(Location Problem)、车辆调度路径安排问题(Vehicle Routing

Problem VRP)和库存控制问题(Inventory Control Problem)。本文研究的车辆路径问题(VRP),最早由 G. Dantzig^[2]在 1959 年首先提出,问题可归纳为在配送中心、客户位置和需求以及道路网络已知的条件下,对车辆进行调度并对运输路径进行安排,在满足客户服务质量的前提下,使整个系统的运行成本最小。VRP 是一个 NP 难题,对 VRP 的求解方法包括精确算法^[3,4]、启发式算法^[5,6]和元启发式算法。精确算法主要包括分枝定界法和动态规划法等,精确算法只适用于小规模 VRP。运用元启发式算法求解 VRP 是现在研究的热点。这些研究方法主要有遗传算法^[7,8]、蚁群算法^[9,10],遗

收稿日期:2008-06-16

基金项目:国家自然科学基金(60474029,60404007,60334030);湖南省自然科学基金(08JJ3126)

作者简介:杨跃武(1968—),男,湖南武冈市人,副教授,研究方向:计算机系统集成与软件开发(E-mail: doveyyw@126.com)。

传算法对领域知识依赖程度低,不受搜索空间限制约束,不必要求目标函数连续可导或单峰,在求解过程中具有自组织、自适应和高度的并行性,且对问题种类有很强的通用性和鲁棒性;蚁群算法采用正反馈并行自催化机制,具有优良的分布式计算机制,易于与其它方法结合。其它具有代表的研究如模拟退火算法、禁忌搜索算法参见文献[11,12]。以上算法在求解大规模VRP问题时具有一定的优越性,但也存在收敛速度慢和易于收敛于局部最优等问题。目前使用最小生成树求解VRP问题的研究成果鲜见报道。

本文首先设计了最优路径寻优转移策略、可行解构造策略和信息元素更新策略,首先根据提出的优化最少生成树准则,把所有覆盖配送范围的所有交通线路所组成的交通连接图转化成一或多棵最少生成子树,然后把这些子树合并成一棵最小生成树,再根据这棵最小生成树来确定最佳的配送线路。本算法运行表明,本文所提出的算法是有效的,大大简化了以往算法的复杂度。

2 问题描述

由多辆车将货物从一个或多个配送中心送到多个地理上分散的客户,如何安排车辆及其行驶路线使总的配送费用最小,是交通运输和物流配送领域的一个核心问题。本文讨论一类车辆具有容量限制的VRP,并设所有客户的需求均由一个配送中心满足(Single Depot VRP),以下简称为SD-VRP。通常情况下,VRP中要求车辆从配送中心出发,为客户提供服务后回到配送中心(Closed VRP)CVRP,若车辆提供服务后不需回到服务中心,则为OVRP(Open VRP),本文考虑车辆提供服务后回配送中心的CSDVRP。

设 $G = (V, E)$ 为一个有 $n + 1$ 个顶点的有向图,其中 V 为其顶点集合, E 为其有向边集合。 $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$, 其中 v_0 为配送中心, $v_1 \sim v_n$ 为 n 个需求点,每一个需求点的需求量为 $q_i (1 \leq i \leq n)$, $E = \{v_i, v_j | (v_i, v_j) \in V, i \neq j\}$ 。设配送中心的供应能力为 C , 配送中心共有 m 辆运输车,每辆车的最大行驶距离和载重量分别记为 $L_i, W_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 第 $k (1 \leq k \leq m)$ 辆运输车的行驶路线记为 R_k, N_k 为该路线上服务客户的个数, R_k^i 记路径 R_k 上的第 i 个客户。

设顶点 v_i 的坐标为 (x_i, y_i) , 定义 v_i, v_j 之间的距离 $d_{ij} = d_{ji}$, 其中 d_{ij} 为 (\cdot) 的

Euclidean 范数。则车辆有限容量的CSDVRP的数学描述为:

$$\min F = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{N_{k-1}} (d_{r_k^i}^{i+1} + d_{r_k^{N_k} 0} + d_{0 r_k^1}) \tag{1}$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^n q_i \leq C \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{N_{k-1}} (d_{r_k^i}^{i+1} + d_{r_k^{N_k} 0} + d_{0 r_k^1}) \leq L_k \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^n q_i \leq W_k, (k = 1, 2, \dots, m) \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^n N_k = n \tag{5}$$

$$(R_i \setminus v_0) \cap (R_j \setminus v_0) = \emptyset \tag{6}$$

值得说明的是,式(5)和式(6)保证每个客户均被服务且只有一辆车为之服务。

3 优化策略及其算法

3.1 优化策略

设 v_0 为配送中心,分别向用户 v_i 和 v_j 送货 ($i \neq j$)。 v_0 到 v_i, v_j 的距离分别是 d_{oi} 和 d_{oj} , 两个用户 v_i, v_j 之间的距离为 d_{ij} , 设有如下两种送货方案,如图1(a)图1(b)所示。

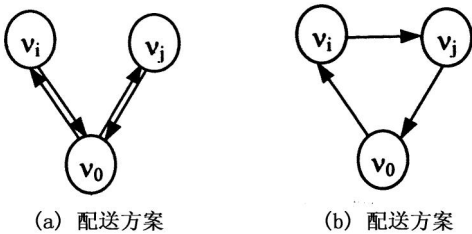


图1 转移策略说明示意图

方案(a) 配送距离为 $2 d_{oi} + 2 d_{oj}$; 方案(b) 的配送距离为 $d_{oi} + d_{oj} + d_{ij}$; 显然,即方案(b)比方案(a)节约的配送里程 $d_{oi} + d_{oj} - d_{ij} > 0$ 。换言之,如果一个配送中心分别向 n 个客户配送货物,在汽车载重能力允许的前提下,每辆汽车的配送路线上的客户个数越多,里程节约量越大,配送路线越合理。

3.2 算法

假设有标识为 $v_0, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9$ 节点的某一交通网络,它们之间的交通连接情况如图2(a)所示,节点之间连接的边上标记的数字为实际距离(公里)。假设节点为配送中心(配送中心可任意指定)或货物配送的出发点,下面详

细介绍本算法的构造步骤:

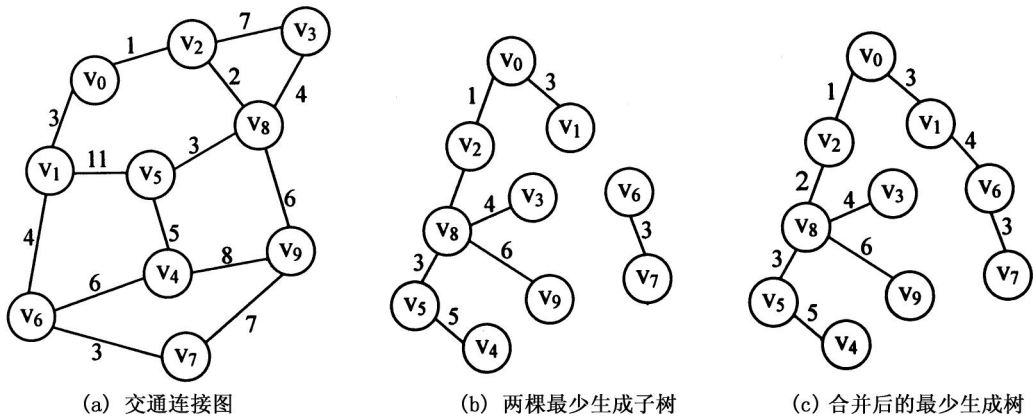


图 2 交通连接图到最少生成树的生成过程示意图

3.2.1 最少生成子树的构造算法

(1) 记配送中心 v_0 为树根, 简称为 TRN (Tree Root Node);

(2) 把配送中心节点设为当前节点, 简称为 CN (Current Node), $CN: \leftarrow TRN$;

(3) 找出 CN 的邻接节点数 (记为 Neighbor Node Number 简称为 NNN), 若 $NNN > 0$, 转 (4); 若 $NNN = 0$ 转 (6);

(4) 找出离当前节点 CN 距离最短的邻接节点 (Distance Shortest Neighbor Node, 简称为 DSNN), 并记录其最短距离 (Shortest Distance, 简称 SD) 记录该节点与 CN 连接成边, 用三元向量组表示 $\langle CN, DSNN, SD \rangle$; 若在某一子树集合中包含此三元向量组, 转 (5); 若子树中, 只包含 $\langle CN, DSNN \rangle$ 二元向量组中的一个节点, 则把 $\langle CN, DSNN, SD \rangle$ 三元向量组加入到此子树集合中, 转 (5); 否则产生一棵新的子树集合, 把 $\langle CN, DSNN, SD \rangle$ 三元向量组加入到此子树集合中, 并标记 DSNN 节点; 将 DSNN 节点设为 CN, 转 (3);

(5) 在图中任意选择没有被标记的一个节点, 作为 CN, 转 (3); 若交通图中所有节点均被标记, 则转 (7);

(6) 标记此节点为孤立节点, 且把 $\langle CN, CN, \rangle$ 三元向量组加入到新生成的子树中, 并标记此节点, 转 (5);

(7) 遍历所有子树, 找出所有孤立节点即类似于 $\langle CN, CN, \rangle$, 并删除所有孤立节点, 孤立节点是从配送中心无法送到的节点。至此所有子树生成完成, 生成的子树如图 2(b) 所示。

3.2.2 最少生成子树到最小生成树的构造算法

根据最少生成子树的构造算法对实际的交通图进行计算, 对生成的最少生成子树进行如下构

造:

(1) 对交通图如图 2(b) 所示, 求出其子树数目, 记为 SubTreeNumber;

(2) 判断 $SubTreeNumber < 2$, 如果 $SubTreeNumber < 2$, 则转 (9) 否则转 (3)

(3) For ($I = 1$; $I < (SubTreeNumber - 1)$; $I++$) 执行

(4) 取出第 I 棵子树;

(5) For ($Num = I + 1$; $Num < SubTreeNumber$; $Num++$) 执行

(6) 选择出第 Num 棵子树, 判断其与第 I 棵子树是否有邻接节点直接相连, 没有转 (5), 有则求出其有邻接节点之间距离最短的节点, 若 I 子树的第 k 个节点到 Num 子树的第 m 个节点距离最短, 则记录 $\langle I.node[k], Num.node[m], SD \rangle$ 到树间数组中; 转 (5);

(7) 结束 Num 循环, 比较出与第 I 棵子树与其它子树距离最短的子树及其相连的邻接节点, 记录到最短树间数组中, 转 (3);

(8) 结束 I 循环, 在最短树间数组中找出距离最小的两棵子树, 对他们最短的直接邻接节点进行连接, 合并成一棵子树, $SubTreeNumber = SubTreeNumber - 1$, 转 (2)

(9) 得到的最小生成树, 如图 2(c) 所示。

3.3 优化最小生成树并标记节点

把实际的交通图转变成一棵最小生成树, 对配送的配送线路采用树的遍历形式, 确定配送线路, 但这样会存在问题, 如图 2(c) 所示, 假设需要配送货物到 v_4 和 v_7 两个节点, v_4 和 v_7 节点在根节点 v_0 的不同子树上。根据最小生成树的定义, 若先配送货物到 v_4 (或 v_7) 节点, 返回到根节点 v_0 , 再从根节点到另一个节点 v_7 (或 v_4), 最后回到根

节点 v_0 , 根据最小生成树中节点间距离的计算方式, 配送距离为 $2 \times v_{04} + 2 \times v_{07} = 2 \times (1 + 2 + 2 + 5) + 2 \times (3 + 4 + 3) = 40$, 若把此确定为最佳配送线路, 显然是错误的, 因为存在 v_4 到 v_6 的线路, 则到 v_4 节点后, 不返回到根节点 v_0 , 直接到 v_6 , v_6 到 v_7 , 再返回到根节点 v_0 , 距离为 $2 \times v_{04} + 2 \times v_{07} + 6 + 3 = (1 + 2 + 2 + 5) + 6 + 3 + (3 + 4 + 3) = 29$, 显然此方式的配送线路计算比树遍历方式计算所得路径距离短。因此还须对最少生成树进行如下修正:

(1) 根据最少生成树图 2(c), 然后对此树子树间进行还原, 只还原根节点 v_0 下的子树之间的互

通线路, 用虚线表示; 如图 3(a) 所示, 只有 v_1 与 v_5 , v_9 和 v_7 , v_4 和 v_6 三条互通线路。

(2) 分别对每条边的两个节点计算从根节点到此节点的距离, 如边 $< v_1, v_5 >$; $v_{01} = 3$; $v_{05} = 6$; 则 $v_{01} + v_{05} = 9$, 而 $v_{15} = 11$; 若 $v_{01} + v_{05}$, 表明 v_1 与 v_5 的距离比按照最少生成树的搜索距离短, 则此边保留, 否则把边 v_1, v_5 永久删除; 对上述三条互通边分别计算, 则把边 v_1, v_5 删除, 得到图 3(b) 所示;

(3) 对图 3(b) 中的每个节点 (根节点 v_0 除外) 进行标记, 标记每个节点 v_0 离根节点的距离, 标记后的最小生成树如图 3(c) 所示。

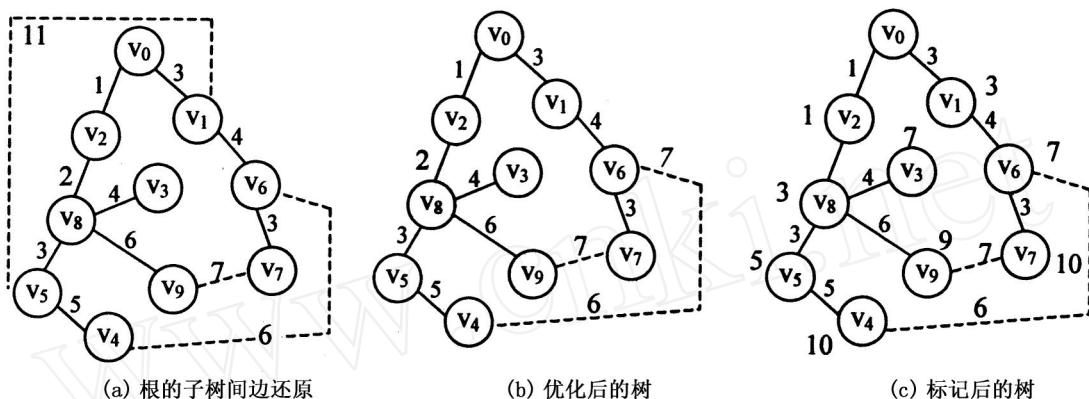


图 3 标记最小生成树过程示意图

3.4 配送线路的确定

若配送中心 (root 节点) 往一个地点 (记为 v_i) 配送货物, 只要从根节点应用树的深度优先遍历算法找到该点, 把此搜索路径作为单点配送的最佳配送路线, 再沿原路返回, 即可保证单点配送是按照最佳配送路线进行配送的。当然也可以采用 A* 算法、弗洛伊德 (Floyd) 和狄克斯特拉 (Dijkstra) 算法等实现。

对于 OSDVRP, 在以上算法的基础上, 加以修改, 即可用来解 OSDVR 具体算法如下:

第一步: 求得配送节点在最小生成树中的分布

(1) 对最小生成树根 (root) 的每个儿子节点定义一个集合, 集合名为儿子的名字;

(2) 配送中心往多个地点货物配送, 配送的节点集合定义为初始集合, 记为 InitSet;

(3) 在 InitSet 集合中依次取出一个节点, 节点名称赋值给 Name, 同时从 InitSet 集合中删去此节点;

(4) 对 Name 节点进行深度优先遍历搜索到此节点, 判断出其属于根的哪个儿子, 并追加到对应的儿子集合中;

(5) 判断 Set 集合是否为空, 不为空则转 (3), 为空转第二步;

第二步: 求出同路径必经节点

对每个儿子集合中的每个节点, 通过深度优先遍历算法对最少生成树遍历获得哪些节点在同一路径上, 若在同一路径上 (如图 3(c) 中的 v_2, v_8, v_3 三个节点在同一路径上), 然后对这些节点进行合并生成一个子集, 合并完毕转第三步。

第三步: 多点配送的最佳配送路线的确定

首先对合并后根 (root) 的每个儿子集合进行判断, 若集合为空, 则删除此集合; 多点配送的算法如下:

(1) 求儿子集合的个数, 记为 n , 若 $n > 1$, 转 (4), 若 $n = 1$, 转 (2), 若 $n = 0$, 转 (6);

(2) 按照树的深度优先遍历算法遍历每个配送节点, 再原路返回, 遍历路径和回溯路径, 即为最优的配送路线, 并删除此集合;

(3) 搜索集合之间有无直接互通线路, 若无, 转 (2);

(4) 对每个集合找出有直接互通线路的集合, 去掉没有直接互通线路的节点与子集;

(5) 对每个儿子集合进行还原成交通连接图,形式为图 2(a),然后重复 3.1、3.2 和 3.3 节中的算法步骤,直到出现图 1(b)的形式组成的三角形或直线段为止;

(6) 确定了子树之间的线路配送路径,再确定每个子树中的配送路径,综合后,得到多点配送的最佳配送路径。

4 结 论

采用本思路设计的物流配送线路,把复杂的路网转变成形象直观的最小生成树,完成了在复杂网络上求最佳配送路线的问题,大大简化了算法的复杂度,同时具有形象直观的特点。算法仅用最短路程作为决策的条件,可以很方便地实现以最小费用为目标的最佳配送路线调度。本系统采用 Jbuilder 9 开发并运行通过,系统不但以最快的时间将用户需要的货物及时送到各个目的地,降低物流配送的成本,还具有方便地获得每条道路通过的平均时间,以及通过每条道路所耗费的平均油费和过路费。

参考文献

[1] Arch W. S. Some problems in Market Disdtibution: Illustrating the Application of a Basic Philosphy of Business[J]. Harvard University Press Jan. , 1915.

- [2] Dantzig G. , Ramser J. The truck dispatching problem[J]. Management Science, 1959(6) :80 - 91.
- [3] Torth P. , Vigo D. Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem[J]. Discrete Applied Mathematics, 2002(123) :487 - 512.
- [4] Lee C. G. , Marina A. Chelsea C. et al. A shortest path approach to the multiple - vehcele routing problem with split pick - ups[J]. Transportation Research, 2006 Part B(40) :265 - 284.
- [5] Fisher M. L. , Jaikumar R. A. Gernerlized Assignment Heuristic for Vehicle Routing[J]. Networks, 1981(11) :109 - 124.
- [6] Talliard E. D. Parallel Iterative Search Methods for Vehicle Routing Problems[J]. Networks, 1993(23) :661 - 673.
- [7] 张涛,王梦光.遗传算法和 3 - opt 结合求解带有能力约束的 vrp[J]. 东北大学学报:自然版, vol. 20, 1992(3) : 254 - 256.
- [8] 张潜,等.物流配送路径多目标优化的聚类.改进遗传算法[J]. 控制与决策, 2003, 18(4) :418 - 422.
- [9] Tavakkoli - Moghaddam R. , Safaei N. , Gholipour Y. A hybrid simulated annealing for capacitated vehicle routing problems with the independent route length [J]. Applied Mathematics and Computation, 2006(176) :445 - 454.
- [10] 崔雪丽,马良. 有缺货限制的 VRP 蚂蚁算法研究[J]. 上海理工大学学报, vol. 25, 2003(1) :39 - 44.
- [11] Bent R. , Hentenryck P. V. A two - stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problems with time windows [J]. Computers & Operation Research, vol. 33, 2006:875 - 893.
- [12] Brandao J. A new tabu search algorithm for vehicle routing problem with backhauls[J]. European Journal of Operational Research, vol. 173, 2006:540 - 555.
- [13] 李争,陆正中编著. JBuilder 精髓[M]. 北京:电子工业出版社, 2004 - 01 - 01.