

时变路网条件下车辆路径问题的自适应蚁群算法^{*}

蔡延光¹, 汤雅连¹, 蔡 颢²

(1. 广东工业大学 自动化学院, 广州 510006; 2. 奥尔堡大学 健康科学与工程系, 丹麦 奥尔堡 9220)

摘 要: 考虑实际生活中道路路况影响运输成本及油耗率与运载量相关的因素、处理跨多时段的问题, 建立时变路网条件下的车辆路径问题数学模型。通过聚类算法和节约算法构造初始解, 提高求解速度; 自适应地改变启发式因子和期望启发式因子, 提高算法全局收敛能力; 结合油耗率, 将油耗率转换成信息素挥发因子, 自适应更新信息素, 保证其收敛速度; 通过 3-opt 策略, 提高算法的局部搜索能力。基于以上方法构造自适应蚁群算法, 对八个客户规模的实例进行仿真表明, 提出的算法在收敛速度和寻优结果两方面略优于自适应遗传算法和蚁群算法, 并且因为考虑了不同运载量的油耗, 为准确估计运输成本提供了方法。

关键词: 车辆路径问题; 时变路网; 蚁群优化; 自适应; 多时段

中图分类号: TP301

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2015)08-2309-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2015.08.017

Adaptive ant colony optimization for vehicle routing problem in time varying networks environment

Cai Yanguang¹, Tang Yalian¹, Cai Hao²

(1. School of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. Dept. of Health Science & Technology, Aalborg University, Aalborg 9220, Denmark)

Abstract: Considering road condition affect transport cost and fuel consumption rate was associated with carry load in real life, dealing with crossing multi-period problem, this paper established vehicle routing problem in time-varying networks environment mathematical model. At first, constructing initial solution through cluster algorithm and saving algorithm could improve search speed, changing information heuristic factor and pheromone expectation heuristic factor adaptively could improve global convergence ability. Secondly, combining the fuel consumption rate to update pheromone adaptively ensured the convergence speed. At last, used 3-opt strategy to improve local search ability. Thus, it constructed adaptive ant colony optimization (AACO), using this algorithm to solve VRP for 8 clients. Experiments show that AACO is better than adaptive genetic algorithm (AGA) and ant colony optimization (ACO) in convergence speed and optimal results. Considering the different carry load of fuel consumption, it provides a more accurate for estimating transportation cost.

Key words: vehicle routing problem (VRP); time-varying networks; ant colony optimization; self-adaption; multi-period

0 引言

在车辆实际行驶过程中, 由于交通管理、交通流量、交通事故、上下班高峰期等因素的影响, 车辆的行驶速度是时变的, 从而导致路网各个路段上的运行成本也相应地发生变化, 最终影响总运输成本^[1]。目前时变车辆路径问题的研究已成为一个热点, 因而考虑时变路网条件下的车辆路径问题 (vehicle routing problem, VRP) 极具现实意义。但以往 VRP 的研究中, 一般考虑的情况是任意两点间的运行成本取决于两点间的距离, 即静态路网, 在这种情况下研究物流配送问题, 很可能导致车辆陷入堵塞环境中, 且导致求解模型结果与实际结果悬殊。在实际生活中, 车辆在路网中各个时段的行驶状态不同, 最终会导致总成本发生相应的变化。时变路网条件下的 VRP 可广泛

应用于交通运输管理、物流配送等领域, 所以研究时变路网条件下的车辆路径问题非常有必要, 也具有一定的现实意义。

近年来, 已有很多学者作了相关的研究^[1-6]。文献[1]对时变网络环境下车辆调度问题进行研究, 主要侧重于基于时段的时变旅行商问题、基于具体位置的时变旅行商问题和时变 VRP; 文献[2]提出一类将初始路径安排与实时路线调整相结合的求解策略, 通过遗传算法求解常发性交通拥堵情形对应的时变网络车辆调度问题得到初始路径, 针对偶发性交通拥堵环境下的突发事件情形, 引入一种在关键点更新路线的新机制; 文献[3]以易腐货物配送中的时变车辆路径问题为研究对象, 提出应用计算机建模的方法建立此类时变车辆路径问题的仿真模型; 文献[4]研究了时变条件下带时间窗车辆调度问题将车辆行驶速度考虑成时变分段函数, 并利用模拟退火算法进行

收稿日期: 2014-06-09; **修回日期:** 2014-07-21 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61074147, 61074185); 广东省自然科学基金资助项目(S2011010005059, 8351009001000002); 广东省教育部产学研结合项目(2012B091000171, 2011B090400460); 广东省科技计划资助项目(2012B050600028, 2010B090301042)

作者简介: 蔡延光(1963-), 男, 湖北咸宁人, 教授, 博导, 主要研究方向为组合优化、人工智能、决策支持系统等; 汤雅连(1986-), 女, 湖南常德人, 博士研究生, 主要研究方向为物流信息技术、智能算法(fangyalian11@163.com); 蔡颢(1987-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为健康经济学、资源控制与优化。

求解;文献[5]提出了适应性禁忌搜索算法对带回程的时变速度车辆路径问题求解;文献[6]考虑最小化车辆行驶总时间和最小化总延误时间两个相互冲突目标,提出了时变速度情况下带时间窗与回程的车辆路径问题模型;文献[7]提出了一种基于遗传算法的时相关动态车辆路径规划模型,将时变的交通信息和动态客户订单考虑在内,可以获得较好的动态更新效率和优化结果。以上研究均取得了良好成果,但是没有考虑油耗与总运输成本有关。文献[8]将油耗率作为运载量时变函数,考虑带容量约束的 VRP,并提出一种带混合交换规则的模拟退火算法对其求解;文献[9]以行驶距离、运输载重量及使用车辆而产生的总费用最小为目标函数,设计了求解考虑货物权重的车辆路径问题的分散搜索算法;文献[10]提出了一种基于划分策略的蚁群算法来求解货物权重车辆路径问题。但同时考虑道路路况、载重约束、油耗与运载量相关等因素的 VRP 的研究文献还没有发现。虽然应用蚁群算法及其改进算法求解 VRP 的文献不少^[11-14],但本文提出的自适应蚁群算法考虑的侧重点不同,除了使信息素启发因子和期望启发因子自适应,还结合油耗率,将其转换成信息素挥发因子,更新信息素,通过此算法求解时变路网条件下的 VRP 模型。

1 问题描述及数学模型

1.1 跨时段处理

假设某车辆完成多个客户的配送任务需跨越 M 个时段,该车辆行驶路段 $(0, \dots, i, \dots, j)$ 被分为 $d_l (l=1, 2, \dots, M+1)$ 个路程段, $d_1, d_2, \dots, d_{M+1}$ 分别表示该车辆在这 M 个时段所行走的距离。为了推导方便,引入中间变量 v_1 和 v_2 , 假设在第 1 时段、第 2 时段...第 $M+1$ 个时段的平均行驶速度分别为 $v_1, v_2, \dots, v_{M+1}$, 如式(1)所示。假设在第 l 时段行驶路段 $(0, \dots, i, \dots, j)$ 所耗费的时间为 B_l , 如图 1 所示。

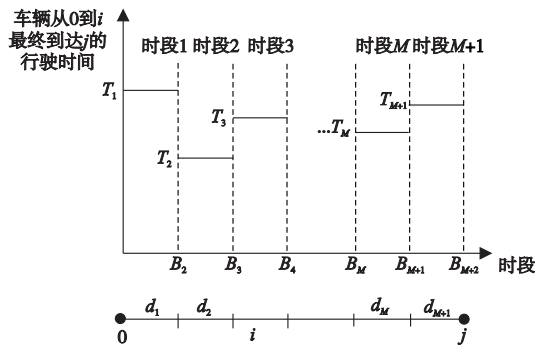


图1 i 到达 j 的跨时段行驶示意图

车辆在 t_i 时刻从车场出发,总行驶时间为 $T_{\text{总}}$, 如式(2)所示。由图 1 可知,车辆在时段 1 行驶距离 d_1 所耗费时间为 $B_2 - t_0$,在时段 2 行驶距离 d_2 所耗费时间为 $B_3 - B_2$,以此类推,在时段 M 行驶距离 d_M 所耗费时间为 $B_{M+1} - B_M$,在第 $M+1$ 时段行驶距离 d_{M+1} 所耗费时间为 T' ,到达 j 的时刻为 t_j 。推导公式如式(3)~(7)所示。由式(8)得到 t_j , 经由 i 最后达到 j 的时间为 t_j 的增函数,满足 FIFO 准则。在时段 p 内,从 i 到 j 的行驶时间为 $c_{ij,p}$ (不考虑跨时段),则对路段 (i, j) , 存在两种可能性:a)车辆在时段 p 从 i 出发到 j ,未跨越时段 $p (p=1, 2, \dots, P)$, 如式(9)所示;b)车辆在时段 p 从 i 出发到 j ,从时段 p 跨越到时段 $p+M (p=1, 2, \dots, P-M)$, 如式(10)所示。

$$\begin{aligned} d &= d_1 + d_2 + \dots + d_{M+1} = \\ v_1 t_1 + v_2 t_2 + \dots + v_{M+1} t_{M+1} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} T_{\text{总}} &= \frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} + \dots + \frac{d_{M+1}}{v_{M+1}} = \\ \frac{d_1}{t_1} + \frac{d_2}{t_2} + \dots + \frac{d_{M+1}}{t_{M+1}} &= \\ \frac{d_1}{d} t_1 + \frac{d_2}{d} t_2 + \dots + \frac{d_{M+1}}{d} t_{M+1} &= \\ \sum_{l=1}^{M+1} \frac{d_l}{d} t_l \end{aligned} \quad (2)$$

$$d_1 = \frac{d}{T_1} (B_2 - t_0) \quad (3)$$

$$d_2 = \frac{d}{T_1} (B_3 - B_2) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} d_{M+1} &= d - d_1 - d_2 - \dots - d_M = \\ d - \frac{d}{T_1} (B_2 - t_0) - \sum_{l=2}^M \frac{d}{T_l} (B_{l+1} - B_l) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} T' &= \frac{d_{M+1}}{d} t_{M+1} = \\ (1 - \frac{B_2 - t_0}{t_1} - \sum_{l=2}^M \frac{B_{l+1} - B_l}{t_l}) t_{M+1} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} T_{\text{总}} &= B_2 - t_0 + B_3 - B_2 + \dots + T' = \\ B_{M+1} - t_0 + (1 - \frac{B_2 - t_0}{t_1} - \sum_{l=2}^M \frac{B_{l+1} - B_l}{t_l}) t_{M+1} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} t_j &= t_0 + B_{M+1} - t_0 + \\ (1 - \frac{B_2 - t_0}{t_1} - \sum_{l=2}^M \frac{B_{l+1} - B_l}{t_l}) t_{M+1} &= \\ B_{M+1} + (1 - \frac{B_2 - t_0}{t_1} - \sum_{l=2}^M \frac{B_{l+1} - B_l}{t_l}) t_{M+1} \end{aligned} \quad (8)$$

$$t_j = t_i + c_{ij,p}, t_j < B_{p+1} - c_{ij,p} \quad p=1, 2, \dots, P \quad (9)$$

$$\begin{aligned} t_j &= \frac{c_{ij,p+M}}{c_{ij,p}} t_i + B_{p+M} + (1 - \frac{B_{p+M}}{c_{ij,p}} - \sum_{l=p+1}^{p+M-1} \frac{B_{l+1} - B_l}{c_{ij,l}}) c_{ij,p+M} \\ B_{p+1} - c_{ij,p} + \sum_{l=p+1}^{p+M-1} \frac{c_{ij,p+M}}{c_{ij,l}} (B_{l+1} - B_l) &\leq t_i < B_{p+1} \\ p &= 1, \dots, P-M \end{aligned} \quad (10)$$

1.2 问题描述及建立数学模型

假设物流公司需给 n 个客户送货,第 i 个客户的需求量为 $g_i (i=1, 2, \dots, n)$, 一个车场,同种车型 $k (k=1, 2, \dots, K)$ 辆。 L 为非常大的正数。车辆启用成本为 c , 假设 i 到 j 的油耗率为 γ_{ij} , 车辆在 i 到 j 路段的载货重量为 Q_{ij} , 车辆载重为 $Q_{\max}$, 满载时的油耗率为 $\gamma_{\max}$, 空载时的油耗率为 γ_0 , (i, j) 间的油耗成本为 c_{ij} , 单位油耗成本为 c_0 , i 到 j 之间的距离为 d_{ij} , 车辆总油耗成本为 C_f , 最大行驶里程为 $D_{\max}$, 司机薪酬单位付费为 w 。由于物流公司送货具有周期性且有一定的规律,本文考虑一天的配送任务,不考虑装卸货时间。目标函数为考虑时变路网约束、油耗变化、载重等约束的情况下,满足所有客户的需求,并使总运输成本最小。

预先对需要车辆数进行估计。可以按照式(11)确定车辆数,式中, $\lceil \cdot \rceil$ 表示不大于括号内数字的最大整数; $0 < \alpha < 1$, 是对装车(或卸车)的复杂程度及约束多少的估计。文献[8]得到油耗成本的计算公式,如式(12)所示。

$$k = \lceil \sum_i g_i / \alpha q \rceil + 1 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} C_f &= \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_0 \gamma (Q_{ij}) d_{ij} x_{ij} = \\ \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_0 [\gamma_0 + \frac{\gamma_{\max} - \gamma_0}{Q_{\max}} Q_{ij}] d_{ij} x_{ij} \end{aligned} \quad (12)$$

假设客户编号为 $1, 2, \dots, l$, 车场编号为 0。决策变量如式(13)~(15)所示。

$$x_{ijp} = \begin{cases} 1 & \text{车辆在 } p \text{ 时段从点 } i \text{ 行驶到点 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (13)$$

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{第 } k \text{ 辆车从 } i \text{ 行驶到 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (14)$$

$$z_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{第 } k \text{ 辆车在任意时段访问点 } i \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (15)$$

建立数学模型:

$$\min z = C_f + \sum_{k=1}^K c \times z_{ik} + \sum_{k=1}^K (t_k - t_0) w \quad (16)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{p=1}^P x_{ijp} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n+K \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^{n+K} \sum_{p=1}^P x_{ijp} = 1 \quad i = 0, \dots, n \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^K z_{ik} = \begin{cases} 1 & i = 1, 2, \dots, n \\ K & i = 0 \end{cases} \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n g_i z_{ik} \leq Q_{\max} \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (20)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^K d_{ijp}^k \leq D_{\max} \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{jik} = \sum_{i=1}^n y_{ijk} = z_{ik} \quad i = 0, \dots, n; k = 1, 2, \dots, K \quad (22)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^K x_{ijp}^k \leq |S| - 1 \quad S = 1, 2, \dots, l; |S| \geq 2 \quad (23)$$

式(16)为目标函数,表示总运输成本最小,涉及运载量的油耗成本、车辆启用成本及司机薪酬成本; t_k 为第 k 辆车返回车场的时间,可通过式(9)和(10)这两种跨时段情况的计算方式来计算。式(17)表示 j 前只有一个客户。式(18)表示 i 前只有一个客户。式(19)保证每个顾客仅被访问一次,而车场则被所有车辆访问。式(20)为车辆载重约束。式(21)为车辆行驶里程约束。式(22)为保证路径的连续性。式(23)消除了车辆不是从车场出发的现象。

2 算法设计

2.1 蚁群算法系统

设 m 为蚂蚁数量^[15], $d_{ij}(i, j = 1, 2, \dots, n)$ 表示 i 与 j 之间的距离, $\tau_{ij}(t)$ 表示 t 时刻在 i 与 j 连线上残留的信息素强度。 P_{ij}^k 表示 t 时刻蚂蚁 k 由 i 转移到 j 的概率,如式(24)所示。 allowed_k 为蚂蚁 k 下一步可选择的客户。 η_{ij}^β 为能见度因数,常取 $\eta_{ij}(t) = 1/d_{ij}$ 。 α 为信息素启发式因子, β 为期望启发式因子。 $t+n$ 时刻在路径 (i, j) 上的信息量可先按式(25)和(26)作调整。 ρ 为信息素挥发因子, $\rho \in (0, 1)$ 。 $\Delta\tau_{ij}(t)$ 表示本次循环中信息素增量。 $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中留下的信息素,计算方法可以根据计算模型而定。如式(27)所示,采用蚁周模型,式中 Q 表示信息素强度。

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{s \in \text{allowed}_k} \tau_{is}^\alpha(t) \eta_{is}^\beta(t)} & j \in \text{allowed}_k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (24)$$

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \times \tau_{ij}(t) + (1-\rho) \times \Delta\tau_{ij} \quad (25)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (26)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Q/d_{ij} & \text{若在本次循环中蚂蚁 } k \text{ 经过路径 } (i, j) \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (27)$$

2.2 主要改进策略

1)通过聚类算法对客户聚类,通过节约算法构造类内初始路径

通过聚类算法对客户进行聚类,然后根据就近原则将类内离车场最近的客户作为种子客户,并采用节约算法构造初始路径, Δd 为距离节约值。从车场出发,根据式(28)逐个选择客户,直到不满足载重约束和里程约束,则重新选择一个种子客户。再根据以上操作,遍历所有客户点,从而形成初始路径。

$$\Delta d = \min |d_{ij} + d_{jk} - d_{ik}| \quad i, j, k = 1, 2, \dots, l \quad (28)$$

2)信息素启发因子和期望启发因子自适应

一般来说, α 取较小值, β 取较大值,能保证合理的收敛速度; α 取较大值, β 取较小值,能保证较大的搜索空间,其多样性使算法在后期寻优过程中避免陷入局部最优。因此,自适应地调整 α 和 β 可用来提高算法的寻优能力。如式(29)和(30)所示, t 为当前代数,Gen为最大迭代次数,这两个公式提供了一个自适应且非线性的优化模型,提高了算法的全局搜索能力^[16]。

$$\alpha = \left\lfloor \frac{3t}{\text{Gen}} \right\rfloor + 1 \quad (29)$$

$$\beta = 3 - \left\lfloor \frac{2t}{\text{Gen}} \right\rfloor \quad (30)$$

3)构造状态转移规则及信息素更新

(1)构造状态转移规则

按照式(25)确定蚂蚁 k 由 i 转移到 j 的状态转移概率。 q 是 $[0, 1]$ 内的随机数, q_0 是一个参数, $q_0 \in [0, 1]$,一般取 $0.85 \sim 0.90$ 。蚂蚁在选择下一客户时,按照式(31)来选择最好的边,否则按式(25)来选择一条边。采用将确定性选择组合和随机性选择相结合的策略,可以适当加大随机选择概率,对解空间进行更完全搜索,从而克服传统蚁群算法缺陷。

$$s = \begin{cases} \arg\max_{s \in \text{allowed}_k} [\tau_{is}^\alpha(t) \times \eta_{is}^\beta(t)] & \text{if } q \leq q_0 \\ S & \text{依 } P_{ij}^k(t) \text{ 搜索概率} \end{cases} \quad (31)$$

(2)信息素更新

通过减小 ρ 虽然可以提高算法的全局搜索能力,但也会使收敛速度降低,因此需要自适应改变 ρ 。 ρ 的初始值 $\rho(t_0) = 1$;当算法求得最优值在 N 次循环中无明显改进时, ρ 如式(32)所示。其中 $\rho_{\min}$ 可以防止 ρ 因过小而降低算法收敛速度。将该参数与问题模型结合起来,以满载油耗率 $\gamma_{\max}$ 和空载油耗率 γ_0 的差值与 $\gamma_{\max}$ 的比值作为 $\rho_{\min}$,如式(33)所示。

$$\rho(t) = 1 - (1 - \rho_{\min}) \left(\frac{t}{\text{Gen}} \right) \quad (32)$$

$$\rho_{\min} = \frac{\gamma_{\max} - \gamma_0}{\gamma_{\max}} \quad (33)$$

4)3-opt 局部搜索

采用3-opt局部搜索^[17]方法,可以增强算法的局部搜索能力。它分为两个步骤:

a)从路径中删除三条边,并在路径的其他地方加上三条新的边,使路径保持完整。如果更换之后使路径长度变短,保留切换结果;否则,尝试其他更换方式。

b)重复步骤a),直到尝试了所有可能的更换方式,直到不能提高解的质量,则输出最优路径,退出算法。

2.3 自适应蚁群算法求解流程

自适应蚁群算法的求解流程如图2所示。

3 实例仿真

3.1 实例

广州市某物流公司有一个车场,车场位置为(50,50),需

给八个客户送货,可用车辆数若干,每辆车的载重为 10 个重量单位,八个客户的需求量分别为 2、3、6、8、1、3、4、2 个重量单位。8:00 统一发车,且 $Q_{\max} = 10, \gamma_0 = 1, \lambda_{\max} = 2, c_0 = 0.1, c = 10, w = 10, D_{\max} = 140$ 。

假定在一天的配送过程中,综合考虑多种因素(交通流量、交通事故、上下班高峰期等)的影响,得到三个时段情况下任意两节点间的行驶时间,三个时段分别是[8:00 10:00]、[10:00 12:00]和[12:00 13:00],在不同时段任意两节点间的行驶时间如表 1~3 所示。

表 1 第一时段任意两节点间的行驶时间 /时间单位

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	63	62	75	68	86	60	45	75
1		0	33	105	21	105	48	101	92
2			0	75	15	75	15	86	60
3				0	92	15	62	48	21
4					0	90	30	96	75
5						0	60	62	15
6							0	75	45
7								0	60
8									0

表 2 第二时段任意两节点间的行驶时间 /时间单位

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	50	49	60	54	68	48	36	60
1		0	26	84	17	84	38	80	73
2			0	61	12	60	12	68	48
3				0	72	12	49	38	17
4					0	72	24	77	60
5						0	48	49	12
6							0	60	36
7								0	48
8									0

表 3 第三时段任意两节点间的行驶时间 /时间单位

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	42	41	50	45	57	40	30	50
1		0	22	70	14	70	32	67	61
2			0	51	10	50	10	57	40
3				0	61	10	41	32	14
4					0	60	20	64	50
5						0	40	41	10
6							0	50	30
7								0	40
8									0

3.2 参数设置及结果分析

在 Intel(R) Core™ i5 CPU 3.0 GHz、内存为 8.0 GB、安装系统为 Windows7 的 PC 机上采用 MATLAB R2010b 编程实现。针对时变路网条件下的 VRP 模型,分别采用 AGA、ACO、AACO 进行仿真,各运行 20 次对模型求解。

自适应蚁群算法参数设计:蚁群规模 $m = 20$,最大迭代次数 $Gen = 800$,随机数 $q_0 = 0.88$,信息素强度 $Q = 100$,信息素挥发因子最小值可通过上节给定参数计算得到 $\rho_{\min} = 0.5$ 。蚁群算法参数设计:蚁群规模 $m = 20$,最大迭代次数 $Gen = 800$,随机数 $q_0 = 0.88$,信息素强度 $Q = 100, \alpha = 2, \beta = 2, \rho_{\min} = 0.5$ 。自

适应遗传算法参数设计:初始化种群 $m = 20$,最大迭代次数 $Gen = 800$,交叉概率 $p_c = 0.9$,变异概率 $p_m = 0.04$,采用最佳保留选择法选择算子,多点交叉,均匀变异。

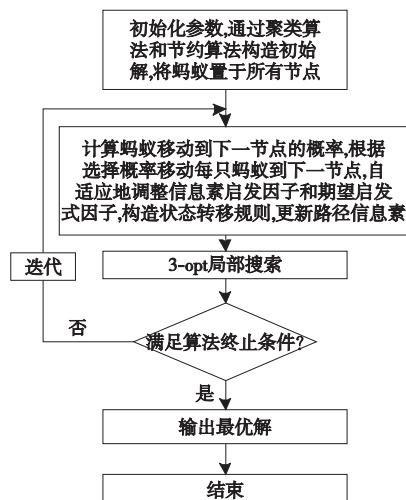


图2 自适应蚁群算法流程图

求解时变路网环境下 VRP 的一次优化过程如图 3 所示。AACO 在第 33 代得到的总成本为 192.37 个费用单位,ACO 在第 40 代得到的总成本为 204.61 个费用单位,AGA 在第 36 代得到的总成本为 195.46 个费用单位。可见,AACO 求得的解优于 ACO 和 AGA,且收敛速度快,虽然 AGA 收敛的速度略优于 ACO,但其得到的解质量较差。具体配送信息如表 4 所示。总共启用了四辆车,其中有三辆车跨了两个时段,一辆车仅在一个时段内配送。可见,车辆在进行配送任务时,一般会跨越多个时段,尤其是在运输任务大或客户点太多的情况,如快递配送就是一个很典型的例子。

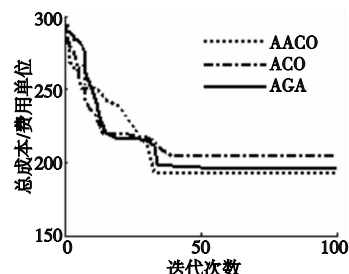


图3 求解时变路网环境下VRP的一次优化过程

表 4 配送信息

路径及时刻表	跨时段情况	行驶距离
0→3→5→8→0 8:00→9:15→9:30→9:45→10:48	二个时段	120.00
0→7→0 8:00→8:45→9:30	一个时段	60.00
0→4→1→0 8:00→9:08→9:29→10:25	二个时段	101.29
0→6→2→0 8:00→9:00→9:15→10:13	二个时段	72.36
总成本:192.37;总里程:353.65;油耗成本:63.04		

4 结束语

本文提出了一种自适应蚁群算法,信息素启发因子和期望因子自适应,结合油耗率,构造了信息素更新方式。考虑了油耗对物流配送的影响,提出了带考虑时变路网环境、油耗的单车场单车型 VRP 模型,应用提出算法对小规模问题模型求解。通过 AGA、ACO 和 AACO 三种算法求解的结果相比较,证明了算法的优越性。研究更大规模问题模型及包含多种扩展特性(多车场、多车型、次序关联、不对称、随机需求、多周期性、需求可拆分、同时取送货、开放式、服务优先级 (下转第 页))

(上接第 页)等)的 VRP 及其求解算法将是今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 李妍峰. 时变网络环境下车辆调度问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
- [2] 李妍峰, 高自友, 李军. 基于实时交通信息的城市动态网络车辆路径优化问题[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(7): 1813-1819.
- [3] 李峰, 魏莹. 易腐货物配送中时变车辆路径问题的优化算法[J]. 系统工程学报, 2010, 25(4): 492-519.
- [4] 杨善林, 马华伟, 顾铁军. 时变条件下带时间窗车辆调度问题的模拟退火算法[J]. 运筹学学报, 2010, 14(3): 83-90.
- [5] 王正国, 刘振元, 王红卫. 适应性禁忌搜索算法求解带回程的时变速度车辆路径问题[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(9): 1453-1458.
- [6] 王正国, 王红卫, 刘会新. 双目标时变速度车辆路径问题的模型及算法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(12): 88-91.
- [7] 唐健, 史文中, 孟令奎. 基于遗传算法的时相关动态车辆路径规划模型[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(8): 875-879.
- [8] Xiao Yiyong, Zhao Qihong, Kaku I, *et al.* Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem[J]. *Computers & Operations Research*, 2012, 39(7): 1419-1431.
- [9] 张军, 唐加福, 潘震东, 等. 分散搜索算法求解带货物权重的车辆路径问题[J]. 系统工程学报, 2010, 25(1): 91-97.
- [10] 唐加福, 孔媛, 潘震东, 等. 基于划分的蚁群算法求解货物权重车辆路径问题[J]. 控制理论与应用, 2008, 25(4): 699-702.
- [11] 陈迎欣. 基于改进蚁群算法的车辆路径优化问题研究[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(6): 2031-2034.
- [12] 李世威, 王建强, 曾俊伟. 求解 VRPTW 问题的不确定性目标偏好蚁群算法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(3): 869-872, 876.
- [13] 刘瑞杰, 胡小兵. 基于动态调节信息素增量的蚁群算法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(1): 135-136, 151.
- [14] 李世威, 王建强, 曾俊伟. 求解 VRPTW 问题的多目标模糊偏好蚁群算法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(12): 4495-4499.
- [15] 李士勇. 蚁群算法及其应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业出版社, 2004.
- [16] Yao Baozhen, Hu Ping, Zhang Mingheng, *et al.* Improved ant colony optimization for seafood product delivery routing problem[J]. *PROM-ET-Traffic & Transportation*, 2014, 26(1): 1-10.
- [17] 杜振鑫, 王兆青, 王枝楠, 等. 基于二次退火机制的改进多态蚁群算法[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(8): 3112-3117.