

考虑燃料消耗率的车辆路径问题模型与求解

吴丽荣¹, 胡祥培¹, 饶卫振²

(1. 大连理工大学系统工程研究所, 辽宁 大连 116024;

2. 山东科技大学经济管理学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 车辆能量消耗不仅受到行驶距离的影响, 还会受车辆载重量和车辆速度的影响. 从节能低碳角度考虑, 通过对带容量限制的物流配送车辆路径问题(capacitated vehicle routing problem, CVRP)的扩展, 建立了以最小化燃料消耗为优化目标的FCM-CVRP模型(fuel-consumption-minimizing capacitated vehicle routing problem, FCM-CVRP); 通过对比分析CVRP和FCM-CVRP的解空间以及求解复杂度发现, FCM-CVRP较CVRP更加难以求解; 基于FCM-CVRP可行解的燃料消耗量值和车辆路径长度值之间的高度正相关关系, 提出了求解FCM-CVRP的两阶段算法; 并运用Benchmark算例验证了模型和求解算法的有效性. 数据结果表明: 与传统的CVRP相比, FCM-CVRP能够有效降低燃料消耗量, 并在此基础上对物流配送公司提出管理上的相关建议.

关键词: 燃料消耗率; 车辆路径问题; 物流配送; 能量消耗

中图分类号: N945; TP18

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2013)06-0804-08

New capacity-vehicle-routing-problem model and algorithm for reducing fuel consumption

Wu Lirong¹, Hu Xiangpei¹, Rao Weizhen²

(1. Institute of Systems Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. College of Economics and Management, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: The amount of vehicle fuel consumption not only depends on the distance, but also on its load and speed. This paper presents the fuel consumption minimizing capacitated vehicle routing problem (FCM-CVRP) model, an extension of the classical capacitated vehicle routing problem (CVRP) with a broader and more comprehensive objective function. The objective of FCM-CVRP is to minimize fuel consumption. FCM-CVRP is more complicated to solve than CVRP due to the larger solution space size. A two-phase algorithm to solve FCM-CVRP is proposed based on the positive correlation between the fuel consumption of vehicles and distance covered by vehicles. Computational experiments are performed on Benchmark instances. The results suggest that, contrast to the CVRP, FCM-CVRP has the potential of yielding savings in fuel consumption, and in the conclusion, managerial implications are summarized.

Key words: fuel consumption rate; vehicle routing problem; logistics; energy consumption

1 引言

由于国际原油价格持续上涨, 我国成品油价格近年来不断攀升, 给正处于发展阶段的国内物流业, 尤其

收稿日期: 2013-07-01; 修订日期: 2013-10-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71272093); 国家青年科学基金资助项目(71201014); 中央高校基本科研业务费资助项目(DUT12JR09).

是长期使用公路运输或航空运输的物流企业造成明显冲击. 而随着“高油价时代”的到来, 我国的物流业面临着前所未有的挑战. 现代物流企业中, 运输在其经营业务中占有主导地位, 因此物流运输费用在整个物流业中占有较大的比例, 运输费在社会物流费用中约占 50% 左右^[1]. 因此, 运输成本已经成为各大物流公司关注的重点, 国内物流企业由于承受不了如此高昂且持续上涨的物流成本纷纷倒闭. 此外, 最近全国多次爆发阴霾天气, 导致这一现象的主要原因是机动车排放大量的尾气. 全社会燃料消耗量大, 导致尾气排放量大, 造成 PM2.5 严重超标, 影响了居民的正常生活, 引发大面积流感和呼吸道疾病. 由于空气质量导致能见度降低, 国内很多机场也被迫停航, 给经济和人民生活造成了巨大损失. 在这种现实背景下, 一种以燃料消耗最小为目标的车辆路径调度方案能够帮助物流企业节约燃料消耗的成本, 而并非传统的最小化路径长度的车辆路径物流配送方案. 以降低燃料消耗为目标的车辆路径优化, 在减低燃料消耗量的同时, 很大程度减少了碳排放量, 能够很好地响应国家关于低碳、绿色、可持续发展的“十二五”政策, 对社会起到节能减排的有效作用. 车辆路径问题(vehicle routing problem, VRP)^[2], 已经被证明是 NP-hard 组合优化问题. VRP 模型的优化目标是 minimized 车辆运行成本, 而传统的 VRP 模型在优化时假设最小化车辆的运行成本即最小化车辆总的运行距离, 因此在优化目标时将最小化运行成本转化为最小化运行距离, 这一假设显然与现实不符; 距离最短等同于运行成本最小的优化目标的前提假设是燃料消耗率是不变的; 事实上, 车辆在运行过程中, 燃料消耗率受多种因素的影响, 如载重量, 速度, 道路坡度, 道路质量(高速/非高速), 车本身质量, 司机开车技术等, 捕捉到这些信息对燃料消耗率的影响之后, 再去优化成本才更符合实际情况. VRP 问题的研究文献非常丰富, 大致分为两大类, 一类是以 VRP 为基础扩展的各类模型, 如随机 VRP 问题^[3], 联送一体化 VRP 问题^[4], 带二维装箱问题的 VRP 问题^[5] 和二级 VRP 问题^[6] 等; 另一方面是求解各种类型的 VRP 问题的算法, 如禁忌搜索算法^[7], 模拟退火算法^[8] 以及遗传算法^[9] 等. 而本研究从燃料消耗率最小的角度考虑 CVRP 问题, 属于绿色物流研究领域, 绿色物流作为一个相对较新的领域, 目前的研究成果有 Sbihi 等^[10] 对目前绿色物流领域研究现状做了详细的分析, 提出一些在该领域值得研究的科学问题, 如车辆路径问题导致的碳排放问题, 时变 VRP 问题等. Erdogan 等^[11] 考虑了多燃料车型的 VRP 问题, 即在传统的 VRP 问题上, 引入虚拟点表示燃料填充站, 建立了新的混合整数规划模型表示 GVRP 问题, 并设计启发式算法对模型求解. Xiao^[12] 等通过考虑车的载重量设计了每公里耗油率模型, 在此基础上提出了耗油最少的车辆路径问题.^[13] 从物流公司实际运营角度出发, 同时考虑影响车辆运营成本的直接因素和间接因素, 建立了更一般化的模型, 并对模型进行了详细的分析以及阐述了在现实中的应用意义; 同时, 从决策支持系统和考虑排放的角度也做了相关的研究工作^[14,15]. 综上, 国内外学者对绿色物流的研究做了一些初步的工作, 这些工作考虑了现实配送中影响燃料消耗以及配送成本的因素; 而本文的研究角度是同时考虑影响汽车能耗量的车辆行驶距离, 载重和车速三个主要的直接影响因素, 力图提供一种更接近现实的物流配送方案. 本研究工作的难点在于如何构造速度和载重量同时作用对燃料消耗影响的函数, 以及当新问题的解空间变大后, 如何高效地求解此模型. 本文针对经典 CVRP 问题, 从燃料消耗最小的角度考虑, 首先构建了基于速度和载重量的燃料消耗率模型, 在此基础上构建了燃料消耗最小的 CVRP 模型, 通过分析新模型求解的复杂度, 提出求解 FCM-CVRP 的两阶段算法, 最后通过实验数值验证模型和求解算法的有效性及其实用性.

2 考虑燃料消耗率的 CVRP

燃料消耗率受多种因素的影响, 有可以度量的直接因素, 如距离, 速度, 载重量等; 有难以度量的间接因素, 如司机的开车技术, 路面质量等因素. 本文重点考虑影响燃料消耗率的两个最关键的直接因素, 即速度与载重量. 下文先分析速度和载重量如何影响燃料消耗率, 接着构建了基于速度与载重量的燃料消耗率函数.

2.1 基于载重量的燃料消耗率

燃料消耗率是汽车发动机中一个有关经济性的指标, 燃料消耗率的大小受载重量的影响, 如果能够有效地表示两者之间的关系, 并在车辆调度过程中充分利用两者之间的关系进行调度, 则能够有效地优化车辆的

燃料消耗率. 国外有一些学者和机构专门研究过载重量对燃料消耗率的影响, 已有一些能够表示两者关系的实验数据^[12]; 国内专门研究载重量对燃料消耗率影响的文献和资料不多, 且缺乏具体的数据细节. 英国国家交通部门针对载重量对燃料消耗率的影响的研究表明, 载重量与燃料消耗量为正相关^[12], 载重量对燃料消耗的影响作用很明显, 因此有必要构建基于载重量的燃料消耗率模型. 本研究将两者的关系拟合成一次函数进行后续分析.

2.2 基于速度的燃料消耗率

影响燃料消耗率的另外一个主要因素是速度, 车辆在运行时存在经济车速, 即在经济车速下运行油耗最小, 高于或低于经济车速都会增加燃料的消耗, 相关的研究结果表明^[16,17], 载重量一定的前提下, 车辆达到一定的速度之后, 继续提速对燃料消耗不会产生明显的作用, 存在一个经济车速. 因此根据现有的研究结果, 本研究将速度与燃料消耗两者的关系用二次函数表示.

2.3 基于速度与载重量的燃料消耗率

单独考虑速度或载重量对燃料消耗的影响, 都不能真实地反映实际情况. 因此本研究同时考虑速度和载重量, 构造一个基于速度与载重量的燃料消耗率的函数, 根据2.1节和2.2节的叙述, 本研究通过已有研究的相关数据拟合燃料消耗与速度和载重量的关系, 拟合得到基于速度 s 和载重量 l 表示的燃料消耗的函数为

$$f(s, l) = as^2 + bs + cl + dsl + e. \quad (1)$$

3 FCM-CVRP 模型的构建

FCM-CVRP 模型是在传统的 CVRP 模型基础之上, 加入燃料消耗率函数之后构建的新的模型. 模型定义如下: 首先定义一个无向图 $G = (N, R)$, 其中 $N = \{0, 1, 2, \dots, n, n+1\}$, 表示有 n 个客户点, 点 0 表示起始点, 点 $n+1$ 表示终止点. 弧集 $R = \{(i, j) | i \in N \setminus \{n+1\}, j \in N \setminus \{0\}, i \neq j\}$ 表示两点之间可能路径的集合. d_{ij} 表示两点之间的距离, 派出一辆新车的固定成本为用 F 表示, v 表示一共派出的车辆数, 每辆车的最大容量为 C ; q_i 表示客户点 i 的需求量; Q_{ij} 表示从客户点 i 到客户点 j 车辆的载重量; p 表示每升燃料的价格. 根据上述符号说明, 得到如下 FCM-CVRP 模型.

$$\text{Min } \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} (pd_{ij}x_{ij}f(s, l) + Fv), \quad (2)$$

s. t.

$$x_{ij} \in \{1, 2\}, \forall i \in N \setminus \{n+1\}, j \in N \setminus \{0\}, i \neq j, \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0, i\}} x_{ij} = 1, \forall i \in N \setminus \{n+1\}, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{j, n+1\}} x_{ij} = 1, \forall j \in N \setminus \{0\}, \quad (5)$$

$$q_j x_{ij} \leq Q_{ij} \leq (C - q_i) x_{ij}, \forall i \in N \setminus \{n+1\}, j \in N \setminus \{0\}, i \neq j, \quad (6)$$

$$\sum_{j=0}^n (Q_{ji} - Q_{ij}) = q_i, \forall i \in N \setminus \{n+1\}, i \neq j, \quad (7)$$

$$Q_{ij} \geq 0, \forall i \in N \setminus \{n+1\}, j \in N \setminus \{0\}, i \neq j \quad (8)$$

其中式(2)表示目标函数, 即最小化燃料消耗成本(Fv 的值对结果无影响, 第4节有说明), 其中函数 f 用式(1)表示; 式(3)是对决策变量的说明; 式(4)和式(5)表示每个客户点只能经过一次. 式(6), 式(7)和式(8)是对车

辆的载重量的约束.

4 模型的求解策略

4.1 求解复杂度分析

解空间 Ω 是指所有可行解的集合, 因此如果解空间中的元素越多求解最优解的难度也越大. 下面比较一下 FCM-CVRP 与传统 CVRP 的解空间大小关系. 由上述的模型可知, 其实 CVRP 的可行解必定为 FCM-CVRP 的可行解(都仅有车的载量限制), 只是后者与配送车辆的行走方向相关和选择的路段有关系, 而前者与方向无关. 也就是说 CVRP 的解空间 Ω_C 中的元素必定会小于 FCM-CVRP 的解空间 Ω_E , 设配送车辆的数量为 k 辆($k_{\min} \leq k \leq n$), 且第 i 辆车服务的顾客数量为 n_i^s ($1 \leq i \leq k$), 其中

$$k_{\min} = \left\lceil \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^n q_i \right\rceil, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^k n_i^s = n \quad 1 \leq s \leq U_n^k, \quad (10)$$

其中 U_n^k 表示将 n 个顾客分为 k 辆车服务, 且每辆车均不超过载量 Q 的方式数量(如将 4 个顾客分为 2 辆车, 有 $U_4^2 = 2$ 种方式: 1) 每辆车服务 2 个顾客; 2) 1 辆车服务 1 个顾客, 另一辆服务 3 个顾客). 因此, CVRP 的解空间中元素的数量可由式(11)计算得到.

$$|\Omega_C| = \sum_{k=k_{\min}}^n \left(\sum_{s=1}^{U_n^k} \left(C^s \prod_{i=1}^k \frac{(n_i^s + 1 - 1)!}{2} \right) \right) = \sum_{k=k_{\min}}^n \left(\sum_{s=1}^{U_n^k} \left(C^s \prod_{i=1}^k \frac{n_i^s!}{2} \right) \right), \quad (11)$$

其中 C^s 表示在某 s 分组方式下的组合数. 由于 FCM-CVRP 的可行解是具有方向的, 因此其解空间 Ω_E 中的元素数量的计算方式及与 $|\Omega_C|$ 的关系如式(12)所示.

$$|\Omega_E| = \sum_{k=k_{\min}}^n \left(\sum_{s=1}^{U_n^k} \left(C^s \prod_{i=1}^k (n_i^s + 1 - 1) \right) \right) = \sum_{k=k_{\min}}^n \left(2^k \sum_{s=1}^{U_n^k} \left(C^s \prod_{i=1}^k \frac{n_i^s!}{2} \right) \right) \geq 2^{k_{\min}} |\Omega_C|. \quad (12)$$

所以, 在顾客数量相同的条件下, FCM-CVRP 的可行解数量至少是传统 CVRP 的 $2^{k_{\min}}$ 倍, 这说明 FCM-CVRP 求解的难度会大于 CVRP.

4.2 FCM-CVRP 模型可行解的燃料消耗与路径长度的相关性分析

通过求解复杂度分析发现, FCM-CVRP 的解空间远远大于 CVRP 的解空间, 解空间的扩大将导致求解算法中的改进法则(如 2-opt, exchange 等)的复杂度大大提高. 所以, FCM-CVRP 的求解要远难于 CVRP, 然而, 通过目标函数(2)可知, 燃料消耗与路径的长度密切相关, 因此本文选取 CVRP 问题的 Benchmark 算例之一 E016-03m, 针对 15 个客户点, 3 辆车的情况, 测试了 FCM-CVRP 模型与 CVRP 模型的解质量的相关关系. 首先需要确定基于速度与载重量的燃料消耗函数的各参数值, 本研究根据文献中的统计数据^[16], 用 MATLAB 工具进行多项式拟合, 得出 a, b, c, d, e 这五个参数的值如表 1 所示(拟合的 R^2 值为 0.97).

通过求解 E016-03m 问题, 可知, FCM-CVRP 和 CVRP 的最优解不相同, 其中 FCM-CVRP 的最优解(值为 859, 参见数值验证部分)比 CVRP 最优解对应的燃料消耗值(值为 950, 参见数值验证部分)节省 9.12%. 通过生成 CVRP 的 1000 个邻域可行解, 计算相对应的燃料消耗值, 发现所有 1000 个 CVRP 的邻域解对应的能耗值与总路径长度具有非常高的正相关关系, 通过计算其相关系数为 0.88.

表1 基于速度与载重量的燃料消耗函数的各参数值

Table 1 The parameters used in FCM-CVRP

参数名	a	b	c	d	e	燃料价格	车辆最大载重	距配送点最远距离
参数值	0.02	-1.67	0.46	0.03	51.17	7.00 元/L	15 t	50 km

注: 设定燃料价格7元/升(对结果无影响), 车辆最大载重为15 t, 距配送点的距离(即客户点到配送中心的最远直线距离)为 0.5×10^2 km; 目标函数中的载重量转换公式为 $L \times 15\,000/C$; 派出一辆新车的固定成本为500元(对结果无影响) 速度值随机产生, 服从20-50之间的均匀分布。

4.3 模型的两阶段求解算法

由上述分析可知, FCM-CVRP的可行解的燃料消耗与总路径长度高度正相关, 并且由4.1节分析可知 FCM-CVRP较CVRP更加难以求解. 因此本研究利用两个值高度相关的特点, 提出了求解FCM-CVRP的两阶段求解算法. 第一阶段, 先采用当前求解CVRP问题的算法, 以最小化路径长度为目标函数, 求解一个CVRP问题得到一个局部最优解^[18]; 第二阶段: 基于第一阶段得到的解, 生成该解的 n 个邻域可行解, 计算这些邻域可行解的FCM-CVRP目标函数值, 即可得到最小的燃料消耗值, 并找到此值对应的可行解. 本文具体的求解策略如图1所示.

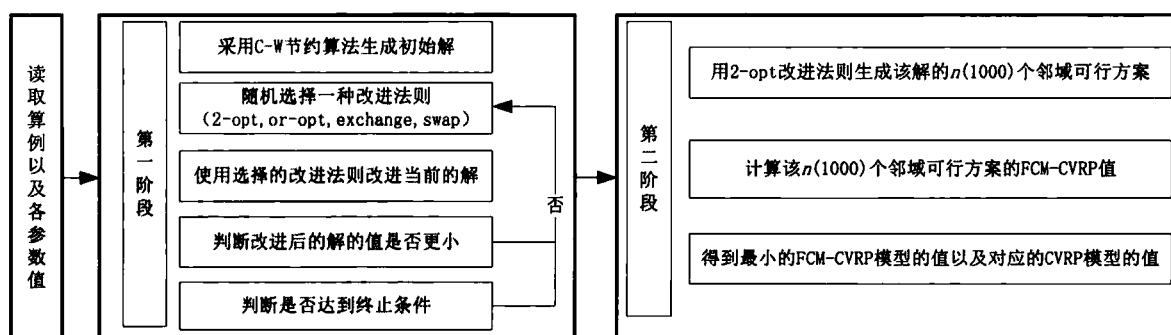


图1 模型的两阶段求解算法

Fig. 1 Two-stage solving algorithm

5 数值验证

算例来自CVRP问题的Benchmark算例, 本部分选取20组Benchmark数据进行实验, 问题规模从小到大(15个点到480个点不等)进行具体分析, 其中参数的选取参见4.2节.

表2对比了以燃料消耗成本最小和总路径长度最短两种目标为优化目标的求解结果, 并在每一种优化目标的求解结果中, 计算出另外一个值的大小进行横向比较, 即在生成的同一种路径下, 计算两个不同的目标值. 表2显示: 1) 和CVRP模型比较, FCM-CVPR模型能够有效地降低燃料消耗率; 2) FCM-CVRP与CVRP的结果显示二律背反性, 燃料消耗量的降低需要以增加总路径长度为代价; 3) 燃料消耗成本降低的比率远远大于总路径长度增加的比率. 在客户点少的算例中, 表中结果表现的更加明显, 但是并不能说明客户点多的算例中效果会减弱. 因为客户点多的算例, 解空间将呈指数级变大, 而本文在求解过程中全部采用1000个邻域解进行模型的对比分析, 得到的结果已经很显著; 如果选取更多的邻域解, 结果将更明显; 4) 表2中第3个算例说明在某些情况下, 即使在总路径长度保持不变的情况下, 也可以通过改变车辆配送的先后顺序降低燃料消耗成本.

表3是以第9个算例为基础, 客户点为120个, 假设 $l = 10$ t, 改变式(1)中 a 的值, 对速度进行灵敏度分析的结果. 当 $l = 10$ t时, 式(1)可表示为顶点式 $f(s, 10) = 0.02(s - 33.25)^2 + 33.66$, a 值分别取0.01, 0.015, 0.02, 0.025, 0.03, 得出的结果如表3所示, a 值越大, 说明速度对燃料消耗的影响越敏感, 得出的燃料消耗减

少的比例也越大. 燃料消耗成本的差值分析有效地说明了这一趋势.

表 2 CVRP 与 FCM-CVRP 两种模型的求解结果对比分析

Table 2 The comparative analysis for CVRP and FCM-CVRP

编号	20个算例	燃料消耗成本		差值分析	总路径长度		差值分析
		CVRP	FCM-CVRP		CVRP	FCM-CVRP	
1	E016-03m	950	859	-9.12%	287	290	1.06%
2	E021-06m	1 531	1 466	-4.29%	441	443	0.34%
3	E026-08m	1 693	1 651	-2.49%	657	657	0.00%
4	E031-09h	1 977	1 928	-2.48%	626	628	0.13%
5	E036-11h	2 339	2 272	-2.85%	743	745	0.22%
6	E041-14h	2 937	2 873	-2.18%	902	905	0.21%
7	E051-05e	1 433	1 374	-4.13%	578	580	0.22%
8	E076-07u	1 920	1 868	-2.73%	741	742	0.13%
9	E121-07c	1 181	1 150	-2.67%	1 105	1 105	0.00%
10	E151-14r	2 493	2 434	-2.37%	2 940	2 946	0.18%
11	E200-17c	3 100	3 026	-2.38%	1 389	1 393	0.24%
12	E241-22k	4 478	4 365	-2.51%	782	783	0.14%
13	E262-25j	3 752	3 668	-2.24%	5 944	5 961	0.28%
14	E301-28k	5 148	5 040	-2.10%	1 130	1 133	0.33%
15	E324-16k	2 668	2 612	-2.11%	842	843	0.06%
16	E361-33k	5 489	5 390	-1.80%	1 513	1 521	0.53%
17	E386-47t	4 971	4 902	-1.39%	26 294	2 6414	0.46%
18	E400-18k	2 961	2 883	-2.63%	1 033	1 035	0.27%
19	E421-41k	5 750	5 679	-1.23%	1 968	1 974	0.30%
20	E481-38k	6 635	6 570	-0.96%	1 791	1 793	0.14%

表 3 速度的灵敏度分析

Table 3 The sensitivity analysis of speed

a值	燃料消耗成本		差值分析	总路径长度		差值分析
	CVRP	FCM-CVRP		CVRP	FCM-CVRP	
0.010	1 329	1 321	-0.58%	1 105	1 105	0.00%
0.015	1 342	1 338	-0.30%	1 105	1 111	0.60%
0.020	1 354	1 342	-0.88%	1 105	1 108	0.27%
0.025	1 366	1 352	-1.05%	1 105	1 113	0.75%
0.030	1 427	1 360	-4.68%	1 105	1 117	1.14%

表 4 是以第 9 个算例为基础, 客户点为 120 个, 假设 $s = 35$, 改变式(1)中 c 的值, 对载重量进行灵敏度分析的结果.

当 $s = 35$, 时, 式(1)可表示为顶点式 $f(35, l) = 1.51l + 17.22$, 改变 c 值, 分别取 c 值为 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 得出的结果如表 4 所示, c 值越大, 说明载重对燃料消耗的影响越敏感, 得出的燃料消耗减少的比例也越大. 燃料消耗成本的差值分析有效地说明了这一趋势. 以表2中算例 3 和算例 10 为例分析 FCM-CVMP 模型的经济效益和社会效益分析如下: 以 25 个点(算例 3)和 150 个点(算例 10)为例, 得到一辆车行驶 100 km 可以节省的燃料消耗费用分别为 5.5 元和 5.1 元, 即1公里可以节省的金额分别为 0.055 元和 0.051元. 因此假设一个物流配送公司有 200 辆卡车, 每辆卡车平均每天运行 300 km, 则该公司一天可节省 3 000 元燃料消耗费用, 一年可节省 100 万元, 经济效益很可观. 另外, 节省 100 万元燃料消耗费用, 相当于节省了 14×10^4 L 燃料, CO_2 排放量减少约 320 t, 因此环境效益也很明显.

表4 载重量的灵敏度分析
Table 4 The sensitivity analysis of load

c值	燃料消耗成本			总路径长度		
	CVRP	FCM-CVRP	差值分析	CVRP	FCM-CVRP	差值分析
0.5	422	420	-0.38%	1 105	1 108	0.29%
1.0	564	560	-0.71%	1 105	1 108	0.29%
1.5	706	700	-0.91%	1 105	1 108	0.29%
2.0	848	839	-1.04%	1 105	1 108	0.29%
2.5	991	979	-1.14%	1 105	1 108	0.29%

本数值实验的结果能够为物流配送公司提供一些管理上的启示. 首先, 物流配送公司采用传统的最短化配送路径的 CVRP 模型生成配送路径, 显然不是燃料消耗成本最小的路径; 在油价逐渐上涨的大趋势下, 物流配送公司采用 FCM-CVRP 模型生成的路径, 能够大幅度降低公司的燃料消耗成本, 一年可节省的费用很可观; 同时也有一定的社会环境效益. 另外, 如果不考虑载重对燃料消耗的影响, 或者不考虑速度对燃料消耗的影响, 本模型即可回归到只考虑速度或者只考虑载重的模型. 如果速度和载重量都不变, 则能回归到最原始的 CVRP 模型, 因此在应用中具有高度可扩展性和灵活性.

6 结束语

本文从速度和载重两个角度综合考虑燃料消耗率, 首先构建了基于速度和载重量的燃料消耗函数; 基于此函数, 构建了以燃料消耗最小为优化目标的有载重量约束的车辆路径问题模型 FCM-CVRP. 针对新模型求解空间变大、求解变复杂这一难点问题, 设计了两阶段求解算法, 同时用 Benchmark 算例对模型和算法进行了验证. 通过数值实验的结果分析, 可以看出, FCM-CVRP 模型能够帮助物流配送公司降低其燃料消耗的成本, 同时从社会效益角度考虑, 能够大大降低机动车尾气排放, 减少空气污染, 还人民一片蔚蓝的天空. 其它间接因素也会影响燃料消耗率, 比如司机开车技术, 路况等等; 如果能够综合考虑直接和间接因素, 并将其量化, 则可以更准确地表达燃料消耗率, 得到的模型也将更接近现实, 这也是该研究进一步需要思考的问题.

参考文献:

- [1] 李伊松, 易 华. 物流成本管理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 130-149.
Li Yisong, Yi Hua. Logistics Cost Management[M]. Beijing: China Machine Press, 2005: 130-149.(in Chinese)
- [2] Dantzig G B, Ramser J H. The truck dispatching problem[J]. Management Science, 1959, 6(1): 80-91.
- [3] Li X Y, Tian P, Leung S C H. Vehicle routing problems with time windows and stochastic travel and service times: Models and algorithm[J]. International Journal of Production Economics, 2010, 125(1): 137-145.
- [4] Lai M Y, Cao E B. An improved differential evolution algorithm for vehicle routing with simultaneous pick-ups and deliveries and time windows[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2010, 23(2): 188-195.
- [5] 王 征, 胡祥培, 王旭坪. 带二维装箱约束的物流配送车辆路径问题[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(12): 2328-2341.
Wang Zheng, Hu Xiangpei, Wang Xuping. Vehicle routing problem in distribution with two-dimensional loading constraint[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2011, 31(12): 2328-2341.(in Chinese)
- [6] Perboli G, Tadei R, Vigo D. The two-echelon capacitated vehicle routing problem: Models and math-based heuristics[J]. Transportation Science, 2011, 45(3): 364-380.
- [7] Qi M Y, Ding G X, Zhou Y, et al. Vehicle routing problem with time windows based on spatiotemporal distance[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2011, 11(1): 85-89.
- [8] Bräysy O, Dullaert W, Hasle G, et al. An effective multi-restart deterministic annealing metaheuristic for the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows[J]. Transportation Science, 2008, 42(3): 371-386.

- [9] Liu Y Z. A novel genetic algorithm for vehicle routing problem with time windows[J]. Journal of Harbin Institute of Technology: new Series, 2010, 17(3): 437–444.
- [10] Sbihi A, Eglese R. Combinatorial optimization and green logistics[J]. Annals of Operations Research, 2010, 175(1): 159–175.
- [11] Sevgi E, Elise M H. A green vehicle routing problem[J]. Transportation Research: Part E, 2012, 48(1): 100–114.
- [12] Xiao Y Y, Zhao Q H, Kaku I, et al. Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem [J]. Computers & Operations Research, 2012, 39(7): 1419–1432.
- [13] Suzuki, Y. A generic model of motor-carrier fuel optimization[J]. Naval Research Logistics, 2008, 55(8): 737–746.
- [14] Suzuki, Y. A decision support system of vehicle routing and refueling for motor carriers with time-sensitive demands[J]. Decision Support Systems, 2012, 54(1): 758–767.
- [15] Suzuki, Y. A new truck-routing approach for reducing fuel consumption and pollutants emission[J]. Transportation Research: Part D, 2011, 169(1): 73–77.
- [16] 蔡凤田, 韩国庆, 王祝鹏. 超载运输对汽车燃料经济性及排放性能的影响[J]. 公路交通科技, 2004, 21(8): 131–135.
Cai Fengtian, Han Guoqing, Wang Zhupeng. The effects of overloading on fuel consumption and emission of motor vehicle[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(8): 131–135. (in Chinese)
- [17] Merrick R J, Bookbinder J H. Environmental assessment of shipment release policies[J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2010, 40(10): 748–762.
- [18] 饶卫振. 大规模动态车辆路径问题优化方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
Rao Weizhen. Research on Optimization Method for Large-Scale Dynamic Vehicle Routing Problem [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2012. (in Chinese)

作者简介:

吴丽荣(1985—), 女, 山西太原人, 硕士, 博士研究生, 物流管理: Email: wulirong@mail.dlut.edu.cn;

胡祥培(1962—), 男, 安徽绩溪人, 博士, 教授, 博士生导师, 电子商务与物流管理: Email: drhxp@dlut.edu.cn;

饶卫振(1981—), 男, 江西丰城人, 博士, 讲师, 物流系统优化, 算法设计与分析: Email: raoweizhen@mail.dlut.edu.cn.