# 文献综述

## 一 前言

车辆路由问题（Vehicle Routing Problem, VRP），最早由Dantzig 与 Ramser[1]在他们对卡车调度问题的研究中提出，是旅行商问题（TSP）在多车辆和多路径情形下的分支。VRP属于经典组合优化和整数规划问题，也是交通、物流配送等领域重要问题之一，其常见形式：给定数量的客户，各自有不同数量的货物需求，配送中心向客户提供货物，由一个车队负责分送货物，组织适当的行车路线，目标是使得客户的需求得到满足，并能在一定的约束下（如车辆容量、时间窗等）使得运送成本最小。

在不同的约束条件下，VRP存在许多变种问题，如多仓库、带时间窗口（客户仅在时间窗内接收货物）、混合车队（依赖外部承运商）、容量相异车队等。尽管有大量不同形式的问题模型，通常企业所面临的实际问题要比科学论文中的标准化问题形式更加复杂。为此需要建立更加符合实际情况的模型，并提出相应的解决方案。

## 二 主体

[2]中提出了一种确切符合真实世界情况的模型，没有任何为了“明智简化”而做出的让步，从而利用这种让步借用现有的成功解决方案。该模型中为VRP增加了车队的异质化，多日规划周期，依赖于运营商的车辆成本函数，以及剩余未调度订单的可能性等新特性。

Toth 和Vigo[3]，Marinakis 和Migdalas[4]，Laporte[5]和Bräysy 和Gendreau[6,7]的文章对VRP与VRPTW做了很全面的阐述，通过这些文章可以了解到VRP的基础模型，其中主要介绍了一下VRP基本实体：

客户/订单：问题中最基本的实体是客户（customer），客户要求商品供应，即订单（order）；订单与客户是一致的，来自相同客户的订单组合在一起；存在一个特殊的客户，代表运输公司的仓库。

车队：货物的运输由车队完成，车队由车辆集合组成，文中假定所有车辆是相同的（具有相同的容量），初始所有车辆位于相同的中央仓库（母仓库），且当其完成运送后需要返回仓库。

路径：车辆路径（或简称路径）是一个客户序列，从仓库出发，依次经过每个客户运送订单。

负载限制：路径对应的车辆负载不应超过车辆容量。

运输费用：每条路径都有相应的运输费用，路径的运输费用既可以是路径举例，也可以是路径中从一个客户到下一个客户在不同计量方式（如时间、过路费等）下的费用总和。

Solomon在[8]中引入了带时间窗的VRP变种，并增加了服务时间和时间窗口等新特性：

服务时间：每个订单都关联一个服务时间，用于从车辆上卸载货物。车辆必须在客户地点停留服务时长。

时间窗：每个客户和仓库关联一个时间区间（时间窗），货物卸载应在时间窗内发生。仓库的时间窗包含所有客户的时间窗。

最早服务时间：所有车辆在仓库窗口（通常为0）的开始时间离开，并在提前到达每个客户位置的情况下，车辆需要等到服务可以开始。

Semet 与 Taillard[9]， Gendreau 等[10]讨论了带“异构”车队的VRP，Volgenant 与Jonker [11]考虑了外包部分运输任务给外部运营商，概念如下：

“异构”车队：车队中车辆具有不同容量。

运营商（外部承运商）：各车辆属于一个运营商，运营商是运输公司的外部承包商。每个运营商（包括公司本身），使用不同的运输成本函数，根据所使用的车辆和路径长度结算路径成本。

在[2]中为更符合现实情况还提出了以下新特性：

规划周期：规划周期由多个连续日期，需要为规划周期的每一天设计一个路径规划，每辆车每天仅能运送一条路径（必须在当前最后返回仓库），相同的车队在规划周期的每一天都是可用的。

多订单：每个客户可以在不同的日子可以出发不同的订单。因此，在这个阶段订单和客户成为不同但相关的实体。对于每一个订单，定义（唯一的）客户与其关联。

运送日期：作为引入多天规划的结果，也有必要指定日期间隔，表明订单应该被递送的日期范围。与时间窗相似，运送日期也被作为软约束且违反该限制将被惩罚。

站点可访问性与强制性/可选订单：在特殊情形下使用某些类型车辆的限制，剩余未调度订单的可能性。车辆使用限制，有时由于站点拓扑和道路障碍，导致不可能使用一些车辆以服务某客户。其他限制可能把有关一些运营商的运营区域，在这个意义上，他们不接受（他们的总部如太远）特定区域的配送服务。这两个方案作为以下限制形式化：

驾驶休息：经过长时间的连续工作时间，司机应该休息给定的最低持续时间。依据法律规定，经过4小时45分钟的连续行驶驾驶员需要休息30分钟。

参照上述特性，可以建立待研究问题的数学模型，称该问题为HVRPTWCD（H代表“异构”，TW代表带时间窗，CD表示依赖外部运营商）。

VRP常见解法包括分支限界（精确解法）、路径构造启发式算法、路径优化启发式算法、合成启发式、元启发式等。考虑到问题的复杂性，难以找到精确解法，因而考虑利用启发式算法。

Baldacci等[12]曾总结了具有不同容量车队情形下的 VRP解法，即HVRP（H表示异构）解法。最近出现的一些构造启发式HVRP解法包括基于列生成的方法（Taillard [13], Choi 与TCHA [14]）和基于扫描的算法（Renaud 与Boctor[15]）。首个HVRP的启发式方法由Semet 与Taillard[9]提出。Osman 与Salhi[16]，Gendreau[10]，Wassan[17]提出了针对这个问题的禁忌搜索方法。Ochi 等[18] 提出了并行遗传算法与分散搜索相结合的解法。Tarantilis 等[19, 20]提出了一个基于列表的阈值接受元启发式方法。Li 等[21]开发了确定性变量模拟退火算法。

有时间窗的HVRP（HVRPTW）相较HVRP很少被研究。第一份对HVRPTW的研究由Liu 与SY [22]完成，其中他们利用了基于节约法的构造启发式。他们还创造了三组实例用于测试此新问题变体。最近，Dell'Amico等[23]提出了一个基于并行插入过程的解决方案，Bräysy等[24]使用了确定性退火元启发式算法来解决HVRPTW。

理论上，带私人车队和公共运营商VRP（VRPPC）情形下，总需求超过内部车队的运载能力，因而有必要利用外部转运（公共承运人）。在这种情况下，问题是双面的：选择应当由外部载体送达的订单和定义内部车队服务剩余客户的路径。对于每个订单，由公共承运人服务订单的成本是固定的，没有依赖任何路径。因此，使用共同承运人运送订单类似于本文模型中被忽略的订单。单一车辆的情况已由Volgenant 与Jonker [11]建模，并且由Diaby 与Ramesh [25]提出的方法给出了问题最优解（对于n <200）。VRPPC由Chu[26]正式提出并给出了启发式解法：他首先采用了经典节约算法的修改版本(Clarke 与Wright [27])，其次是线路之间本地交换。Bolduc等[28] 提出了名为SRI的启发式算法，包含三个步骤：选择外部承运人负责的客户，构造问题解（路径），通过复杂的交换优化问题解。随后，Bolduc等 [29]提出了一个扰动启发式，称为RIP（随机构造，改进，扰动），本质上是结合了下降法与多元化策略。近日Côté与Potvin[30]通过禁忌搜索获得了一组基准上的已知最好结果。

[2]提出了应用禁忌搜索（Tabu Search）解决HVRPTWCD，并讨论了基于禁忌搜索的多种不同解决方案。禁忌搜索原理：在搜索过程中每个步骤处理邻域的一个子集，使该成本值最小的新状态成为新的问题解，无论新成本值优于或差于原值。该子集称作禁忌表，即最近执行的动作列表，表中动作的逆动作（inverses）视作禁止，因而被排除出探索过程。在许多情况下（包括本文中），逆动作不是一个单一动作，而是由被认为是禁忌属性集合的值来确定的一组移动。其包括如下主要参数和特征：搜索空间、成本函数、初始解、邻域结构、禁止规则、激励策略、停止准则。

## 三 总结

通过上述提前的文献，了解到VRP的来源和背景，以及VRP多样化的变种问题，相应存在多样化的问题模型。针对不同的模型，利用不同的搜索技巧，提出了多样的问题解决方案。

文献[2]中依据实际情况，建立经典车辆路由问题的新数学模型基础上，提出了基于禁忌搜索的解决方案。为此目的，研究使用了三种不同的邻域关系。实验分析表明，最好的结果由所有这些的组合获得。还发现在带私人车队和公共承运人的车辆路由问题的基准测试上其算法得到的结果非常有竞争力。

对于未来，应测试使用其他邻里关系和其他搜索技术，并以比较更多依赖于实际情况的案例。还可尝试将此解决方案应用在其他类似的VRP问题上。最后，可以通过调参研究各种成本要素的相对重要性及其与权重的关系。

## 参考文献

[1] Dantzig, G., & Ramser, J. (1959). The truck dispatching problem. Management Science, 6(1), 80-91.

[2] Ceschia, Sara, Luca Di Gaspero, and Andrea Schaerf. "Tabu search techniques for the heterogeneous vehicle routing problem with time windows and carrier-dependent costs." Journal of Scheduling 14.6 (2011): 601-615.

[3] Toth, P., & Vigo, D. (Eds.) (2002). The vehicle routing problem. Monographs on discrete mathematics and applications. Philadelphia: SIAM.

[4] Marinakis, Y., & Migdalas, A. (2007). Annotated bibliography in vehicle routing. Operational Research, 7(1), 27–46. doi:10.1007/BF02941184.

[5] Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. Transportation Science, 43(4), 408–416.

[6] Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005b). Vehicle routing problem with time windows, Part II: Metaheuristics. Transportation Science, 39(1), 119–139. doi:10.1287/trsc.1030.0057.

[7] Bräysy, O., Dullaert, W., Hasle, G., Mester, D., & Gendreau, M. (2008). An effective multi-restart deterministic annealing metaheuristic for the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows. Transportation Science, 42(3), 371–386.

[8] Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. Operations Research, 35(2), 254–265.

[6] Baldacci, R., Battara, M., & Vigo, D. (2007) Routing a heterogeneous fleet of vehicles (Technical Report 2007/1). DEIS, University of Bologna.

[7] Birattari, M., Stützle, T., Paquete, L., & Varrentrapp, K. (2002). A racing algorithm for configuring metaheuristics. InW. B. Langdon et al. (Eds.), GECCO 2002: Proceedings of the genetic and evolutionary computation conference (pp. 11–18). New York: Morgan Kaufmann.

[8] Bolduc, M. C., Renaud, J., & Boctor, F. (2007). A heuristic for the routing and carrier selection problem. European Journal of Operational Research, 183(2), 926–932. doi:10.1016/j.ejor.2006. 10.013.

[9] Bolduc, M. C., Renaud, J., Boctor, F., & Laporte, G. (2008). A perturbation metaheuristic for the vehicle routing problem with private fleet and common carriers. Journal of the Operational Research Society, 59, 776–787.

[10] Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005a). Vehicle routing problem with time windows, Part I: route construction and local search algorithms. Transportation Science, 39(1), 104–118. doi:10.1287/trsc. 1030.0056.

[13] Butt, S. E., & Cavalier, T. M. (1994). A heuristic for the multiple tour maximum collection problem. Computers and Operations Research, 21(1), 101–111.

[14] Chao, I. M., Golden, B. L., &Wasil, EA (1996). The team orienteering problem. European Journal of Operational Research, 88(3), 464–474.

[15] Choi, E., & Tcha, D. W. (2007). A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem. Computers and Operations Research, 34(7), 2080–2095.

[9] Semet, F., & Taillard, E. (1993). Solving real-life vehicle routing problems efficiently using tabu search. Annals of Operations Research, 41, 469–488.

[10] Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C., & Taillard, ED (1999). A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. Computers and Operations Research, 26(12), 1153-1173.

[11] Volgenant, T., & Jonker, R. (1987). On some generalizations of the travelling-salesman problem. Journal of the Operational Research Society, 38(11), 1073–1079.

[12] Baldacci, R., Battara, M., & Vigo, D. (2007) Routing a heterogeneous fleet of vehicles (Technical Report 2007/1). DEIS, University of Bologna.

[13] Taillard, E. (1999). A heuristic column generation method for the heterogeneous fleet vrp. RAIRO Recherche Opérationnelle, 33(1), 1-14.

[14] Choi, E., & Tcha, D. W. (2007). A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem. Computers and Operations Research, 34(7), 2080–2095.

[15] Renaud, J., & Boctor, F. F. (2002). A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem. European Journal of Operational Research, 140, 618–628.

[16] Osman, I. H., & Salhi, S. (1996). Local search strategies for the vehicle fleet mix problem. In V. J. Rayward-Smith, I. H. Osman, C. R. Reeves, & G. D. Smith (Eds.), Modern heuristic search methods, Chap. 8 (pp. 131–153). New York: Wiley.

[17] Wassan, N. A., & Osman, I. H. (2002). Tabu search variants for the mix fleet vehicle routing problem. Journal of the Operational Research Society, 53(7), 768–782.

[18] Ochi, L. S., Vianna, D. S., Drummond, L. M. A., & Victor, A. O.(1998). A parallel evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with heterogeneous fleet. Parallel and Distributed Processing, 1388, 216–224.

[19] Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., & Vassiliadis, V. S. (2003). A list based threshold accepting metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem. Journal of the Operational Research Society, 54(1), 65–71.

[20] Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., & Vassiliadis, V. S. (2004). A threshold accepting metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem. European Journal of Operational Research, 152(1), 148–158.

[21] Li, F., Golden, B., & Wasil, E. (2007). A record-to-record travel algorithm for solving the heterogeneous fleet vehicle routing problem. Computers and Operations Research, 34(9), 2734-2742.

[22] Liu, F. H., & SY, Shen (1999). The fleet size and mix vehicle routing problem with time windows. Journal of the Operational Research Society, 50(7), 721–732.

[23] Dell’Amico, M., Monaci, M., Pagani, C., & Vigo, D. (2006) Heuristic approaches for the fllet size and mix vehicle routing problem with time windows (Tech. rep.). DISMI, University of Modena and Reggio Emilia, Italy.

[24] Bräysy, O., Dullaert, W., Hasle, G., Mester, D., & Gendreau, M.(2008). An effective multi-restart deterministic annealing metaheuristic for the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows. Transportation Science, 42(3), 371–386.

[25] Diaby, M., & Ramesh, R. (1995). The distribution problem with carrier service: a dual based approach. ORSA Journal on Computing, 7(1), 24–35.

[26] Chu, C. W. (2005). A heuristic algorithm for the truckload and lessthan-truckload problem. European Journal of Operational Research, 127(3), 657–667.

[27] Clarke, G., &Wright, J.W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operations Research, 12(4), 568–581.

[28] Bolduc, M. C., Renaud, J., & Boctor, F. (2007). A heuristic for the routing and carrier selection problem. European Journal of Operational Research, 183(2), 926–932. doi:10.1016/j.ejor.2006. 10.013.

[29] Bolduc, M. C., Renaud, J., Boctor, F., & Laporte, G. (2008). A perturbation metaheuristic for the vehicle routing problem with private fleet and common carriers. Journal of the Operational Research Society, 59, 776–787.

[30] Côté, J. F., & Potvin, J. Y. (2009). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with private fleet and common carrier. European Journal of Operational Research, 198(2), 464–469.