

联盟运输调度问题模型结构与算法研究

师 凯, 蔡延光

(广东工业大学 自动化学院, 广东 广州 510090)

摘 要: 联盟运输调度问题是在基本运输调度问题基础上衍生出的最具现实意义的一类组合优化难题, 是近年来物流控制优化领域的研究热点。依据运输调度问题分类方法, 描述了联盟运输调度问题的结构; 通过分析遗传算法、模拟退火算法、禁忌搜索算法、蚁群算法、粒子群算法的特点及其求解运输调度问题的现状, 讨论了它们求解联盟运输调度问题的可能性; 展望了联盟运输调度问题发展的前景, 指出改进原算法、提出新算法、并行算法是解决联盟运输调度问题的重要手段。

关键词: 联盟运输调度; 智能算法; 计算网格

中图分类号: TP301.6; U116.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2007)01-0056-04

Research on Model Structure and Algorithm of Allied Vehicle Routing and Scheduling Problems

SHI Kai, CAI Yan-guang

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: Allied vehicle routing and scheduling problems (AVRP) are derived from vehicle routing and scheduling problems (VRP), and they are the most realistic combinatorial optimization problems, moreover, they have been a focus of research in the logistic management recently. According to the classified method of VRP, the model structure of AVRP is described. The character and the application actualities of Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Tabu Search, Ant Colony Algorithm, Particle Swarm Optimization are analyzed, and the possibilities to solve AVRP are discussed. Finally, the development foreground of AVRP is presented, and the viewpoint that improving original algorithms, putting forward new algorithms, parallel algorithms are important measures to solve AVRP is pointed out.

Key words: vehicle routing and scheduling problems; intelligent algorithms; computing grid

0 引言

物流成本占 GDP 比重是衡量一个国家物流水平高低的重要标准。发达国家物流成本占 GDP 比重为 10% 左右, 而目前国内此比例为 16.7%, 足以见证物流成本之高昂。在国际物流新思想以及复杂竞争环境的影响下, 中国正日益重视物流科技的发展和应用, 从而降低物流成本, 并为企业和社会带来可观的经济效益。其中, 提高物流运输调度水平将作为重点之一。

运输调度问题 (Vehicle Routing and Scheduling Problems, VRP) 就是在这样的背景下引进国内。VRP 自 1959 年提出以来, 时至今日, 已经取得了巨大的理论发展, 模型一再扩充, 算法层出不穷, 某些理论已经产生了实际的经济效益。然而, 到目前为止的这些模型基本上都是建立在传统的物流思维基础上, 如单仓库, 一般只有一个车队, 基本无中转, 不考虑空驶率等。随着物流企业或按地域或按

行业或按行政归属等组成物流联盟, 某个物流企业单兵作战的方式已不再适用, 一种基于物流联盟的运输调度模型亟待产生。

1 联盟运输调度问题

联盟运输调度问题 (Allied Vehicle Routing and Scheduling Problems, AVRP), 即基于物流联盟的运输调度最优化, 就是在满足运输要求的前提下, 在联盟内快速组织多种交通工具, 允许车辆中转, 设计物流运输工具组合、时间组合、线路组合等最优策略, 并为每一次运输设计最优的行车线路和时间表, 追求经济效益的最大化和实现过程的最优化。

与一般 VRP 不同的是, AVRP 是一类强 NP 难的问题, 是一个极其复杂的系统, 其中影响因素非常多, 下面引用智能运输调度系统模型结构分类库^[1]对 AVRP 结构进行具体描述。

1) 车队结构参数:

① 车队数量: a. 一个; b. 一个以上。

② 车队位置: a. 固定; b. 待定。

③ 每个车队拥有的车辆数: a. 一辆; b. 一辆以上。

收稿日期: 2006-04-04

基金项目: 国家自然科学基金 (60374062); 广东省科技计划项目 (2004B10101038); 广东省自然科学基金项目 (04009488)

作者简介: 师 凯 (1980-), 男, 山东章丘人, 硕士研究生, 主要研究方向为物流控制与优化。

④ 车辆载重量:a. 所有车辆相等;b. 所有车辆不完全相等。

⑤ 车辆类型:a. 普通车辆;b. 专用车辆;c. 混合编队。

2) 供应结构参数:

① 供应点数量:a. 一个;b. 一个以上。

② 供应点位置状态:a. 确定;b. 待定。

3) 需求结构参数:

① 服务类型:a. 输送型;b. 收集型;c. 混合型。

② 需求总量:a. 不超过全部车辆总的载重量;b. 可超过全部车辆总的载重量。

③ 需求次数:a. 最多一次;b. 次数不限。

④ 需求位置:a. 边、弧;b. 顶点;c. 混合型。

⑤ 需求点或货物对车辆的特殊要求:a. 无要求;b. 某辆车优先;c. 某类车优先。

⑥ 货物到达目的地先后顺序:a. 无要求;b. 某一货物必须比另一货物先到达;c. 某类货物必须比另一类货物先到达;d. 某一货物必须与另一货物同时到达;e. 某类货物必须与另一类货物同时到达。

⑦ 需求满足程度:a. 全部满足;b. 有舍弃。

4) 网络结构参数:

① 边向:a. 有向;b. 无向;c. 混合。

② 边、弧的权值:a. 固定;b. 随时间不同而变化;c. 随车辆不同而变化。

③ 权值的关系:a. 无关系;b. 满足三角不等式。

④ 拓扑结构:a. 路径;b. 圈;c. 树;d. 仙人掌图;e. 平面图;f. 简单图;g. 一般结构;h. 欧式空间。

5) 作业类型参数:

① 混装:a. 允许;b. 不允许。

② 分散装运:a. 允许;b. 不允许。

③ 中转:a. 允许;b. 不允许。

④ 车辆完成任务后泊车地点:a. 返回任意车队;b. 必须返回车队。

6) 约束条件:

① 时间约束:a. 无限制;b. 硬时间窗;c. 软时间窗。

② 距离约束:a. 无限制;b. 硬距离限制;c. 软距离限制。

③ 交通流量约束:a. 无流量限制;b. 边、弧限制;c. 顶点限制;d. 边、弧、顶点限制。

④ 行车路线约束:a. 无相交性限制;b. 顶点不相交;c. 边、弧不相交。

⑤ 其它要求。

7) 函数及数字特征:

① 确定或随机:a. 确定;b. 随机。

② 精确或模糊:a. 精确;b. 模糊。

③ 数据已知程度:a. 白色;b. 灰色;c. 黑色。

④ 静态或动态:a. 静态;b. 动态。

8) 目标函数结构:

① 目标数量:a. 单目标;b. 多目标。

② 目标函数:a. 总里程最短;b. 车辆数最少;c. 综合费用最小;d. 加班占最小;e. 惩罚最小;f. 其它。

AVRP 的模型结构包含了此模型结构分类库中绝大多数高端的、高效率的分类。与现在已有研究的多车型、时间窗、分割送货、随机需求、多目标、车辆多次使用等 VRP 相比,AVRP 还有与它们显著不同的特点:

(1) 允许有多个供应点和多个车队联合运输,以充分利用物流联盟内的硬件设施资源,减少重复建设。

(2) 允许使用多层次交通网络(如公路、铁路、水运、空运等)和不同类型交通工具(汽车、火车、轮船、飞机等),充分发挥联盟内的交通工具互补性,提升联盟整体竞争力。

(3) 允许使用货物中转设施(如仓库等),以提高单位车辆运输效率,减少空驶率。

(4) 对供求矩阵几乎不作限制,从而最大程度上提高客户满意度。

根据上述讨论,典型的 AVRP 可以简要描述为:

1) $G = (V, E, A)$ 是一个边赋权联通网络, V 是顶点集(共 n 个), E 为无向边集, A 为有向弧集;

2) G 可分解为 $G = G_1 \cup G_2 \cup \dots \cup G_k$, 其中 $G_i = (V_i, E_i, G_i)$ ($i = 1, 2, \dots, k$) 是 k 个混合网络,在 G_i 上只能使用第 i 类交通工具,对于任意 i, j ($i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$),允许 G_i, G_j 的顶点相交和边弧相交;

3) 在 G 上允许存在一些称为中转点的顶点(货物在中转点可以临时卸下,在适当的时机再运送到目的地);

4) $\Delta = (\delta_{ij})_{n \times n}$ 为供求矩阵, δ_{ij} (> 0 , 实数)表示从顶点 i 运到 j 的货物量;

5) 要求每辆车在运输完毕后回到出发点。求完成供求矩阵的运输任务,使总距离(或费用、或时间)最小的方案。

2 算法探讨

自 20 世纪 50 年代末以来,VRP 的求解方法经过了三个层次的飞跃^[2]。在 60 年代的古典 VRP 研究阶段,各种形式的节省算法是求解 VRP 的主流,这类算法虽然求解速度快,但往往只对小规模的 VRP 有效,而且求解精度不高;随着 70 和 80 年代数学规划和网络分析的发展,人们提出了各式各样的基于数学规划的算法,如分支定界法、动态规划法等,这类算法对小规模 VRP 可以求出精确解,但对大规模 VRP 往往无能为力;从 80 年代后期时至今日,各种智能算法和并行算法站到了求解 VRP 的最前沿,包括遗传算法、禁忌搜索算法、模拟退火算法、蚁群算法、粒子群算法等,这类算法不以找到精确解为目标,而是在复杂问题中找到其他方法难以找到的可行的非劣解集。

考虑到 AVRP 的大规模和复杂性,各种精确算法和简单的启发式算法是很难得出满意解的。仿真计算和实际应用结果表明,智能算法通常比精确算法有更快的收敛速度,比普通的启发式算法具有更高的精度,是今后运输

调度问题算法研究的主流。因此,这里仅探讨某些智能算法及其求解 AVRP 的可能性。

2.1 遗传算法

遗传算法是(Genetic Algorithm, GA)由美国密执安大学的 J. H. Holland 教授提出^[3],它是一种以自然选择和遗传理论为基础,将生物进化过程中适者生存规则与同一群染色体的随机信息变换机制相结合的搜索算法。通过给解向量编码、形成初始种群,然后计算个体适应度、设计遗传算子(交叉、选择和变异)并进行迭代计算,可求出问题的满意解。遗传算法具有良好的全局搜索能力,可以快速地将解空间中的全局最优解搜索出,而不会陷入局部最优解的快速下降陷阱;并且利用它的内在并行性,可以方便地进行分布式计算,加快求解速度。但是遗传算法的局部搜索能力较差,导致单纯的遗传算法比较费时。

J. Lawrence^[4]最先将该方法用于 VRP 的研究,并可有效求解带时间窗口的 VRP。鉴于传统的遗传算法是个大范围、粗粒度的寻优算法,因此, Barnier^[4]将它与约束满足问题(CSP)的技术相结合,通过遗传算法来处理 CSP 参数的子域(基因的适应度是通过对 CSP 解的计算得到的),从而减小搜索空间,降低 CSP 问题目标函数和遗传算法约束的复杂度。张涛等^[5]则是通过遗传算法来保证搜索的全局性,用 3-OPT 算法来加强局部搜索能力,得到针对 VRP 的混合算法。不难看出,遗传算法可以从多个方面渗透入 VRP 的求解中,这为进一步研究 AVRP 打下了基础,开拓了思路。

2.2 模拟退火算法

模拟退火算法(Simulated Annealing, SA)历史由来已久,1983 年 Kirkpatrick 等人成功地将其引入组合优化领域。模拟退火算法的基本思想是从一个给定解开始,从领域中随机产生另一个解,允许目标函数在有限范围内变坏,并由一控制参数 t 决定其作用。对于 t 每一次取值,算法持续进行“产生—判断—接受或舍弃”的迭代,经过大量的解变换后,可以求得给定 t 值时优化问题的相对最优解。减小 t 的值,重复执行上述迭代过程,当 t 逐渐减少并趋于 0 时,系统亦越来越趋于平衡状态,最后系统状态对应于优化问题的全局最优解。模拟退火算法具有很强的全局搜索能力,不受搜索空间的限制假设约束,不要求具备连续性、可导性、单峰等假设。然而,算法不但可往好的方向走,也可往差的方向走,即能以一定的概率接受目标函数值不太好的状态,这使得算法容易落入局部最优,理论上讲,若要达到全局最优必须牺牲大量计算时间。

模拟退火算法中,比较有代表性的是 Teodorovic 等^[6]将随机需求问题中的加权平均路程作为代价函数求解一类随机需求 VRP 的模拟退火算法,以及袁健等^[7]通过构造一个对合法路径约束强、惩罚因子易选取的能量函数,结合模拟退火算法和 Hopfield 神经网络解法的优点解决随机需求 VRP 的退火网络算法。用模拟退火算法求解 VRP,一个最显著的缺点就是收敛速度慢,因此,在用于求

解 AVRP 时,可以结合某些启发式算法或智能算法求最好的邻域解,加快收敛速度。

2.3 禁忌搜索算法

禁忌搜索算法(Tabu Search, TS)是由 Glover^[8]在 1986 年首次提出,进而形成一套完整算法。所谓禁忌就是禁止重复前面的工作。为了回避局部邻域搜索陷入局部最优的主要不足,禁忌搜索算法用一个禁忌表记录已经到达的局部最优点,在下一次的搜索中,利用禁忌表中的信息不再或有选择地搜索这些点,以此来跳出局部最优点,对这些点的禁止在一定的时间之后会失效,经过反复迭代,最终达到全局优化。禁忌搜索算法主要缺点是对初始解的依赖性较强,好的初始解可以事半功倍,但不好的初始解会导致灾难性的时间浪费。

Gendreau 等^[4]最先将该方法应用于 VRP,其后, E. Taillard 等^[9]通过按角度和路径重心对原问题的空间进行分割,再用禁忌搜索结合模拟退火对子问题求解,实现了对问题求解的并行化。同遗传算法一样,禁忌搜索、模拟退火等算法都是比较容易同其它算法结合求解问题的。在 AVRP 中,由于多供应点和多重交通网络的特点,禁忌搜索算法求解本身的优势并不明显,最好同其他算法结合构建并行算法。

2.4 蚁群算法

蚁群算法(Ant Colony Algorithm, ACA)由意大利学者 M. Dorigo 等^[10]在 1991 年提出并用于求解 TSP 问题,它是一种基于群集智能(swarm intelligence)的智能算法。以 TSP 为例,对每只蚂蚁依据选择策略选择城市、更新局部信息素(城市之间)和全局信息素(最优路径)并进行迭代计算,即可搜索到 TSP 问题的满意可行解。蚁群算法优点是正反馈,分布式计算。正反馈使该方法能够迅速找到最优解,分布式计算易于并行实现。蚁群算法也并非无懈可击,对较大规模的问题,其搜索时间显著增长,易收敛至局部最优解。

蚁群算法用于求解 VRP 的历史仅有几年时间,鉴于蚁群算法求解最短路径的先天优势,它已经成为求解各类 VRP 问题最成功的算法之一。比较有代表性的是 H. Muraio 等^[11]用蚁群运输安排算法对多车型 VRP 问题的求解。国内较早进行研究的是崔雪丽等^[12]用蚁群算法对有缺货限制的 VRP 进行求解。诸多学者在求解 TSP 问题时对蚁群算法作了多种改进,这些改进方法在求解 VRP 以及 AVRP 时,都是有很强的借鉴意义的。

2.5 粒子群算法

粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)是由 Kennedy 和 Eberhart^[13]于 1995 年提出的。粒子群算法采用的是速度—位置搜索模型。在搜索空间中,每个粒子代表一个候选解,解的优劣由要优化的目标函数决定;它有速度和位置两个属性,粒子通过追踪个体极值和全局极值来更新其速度和位置,从而逐步向最优解靠拢。粒子群算法概念和算法结构简单,计算机执行一次迭代的时间非常

短,但从而也导致了计算精度较差,往往需要迭代更多的次数才能得到满意解。

目前粒子群算法多用于求解连续优化问题,Y. Fukuyama^[14]较早地应用粒子群算法解决工程中实际的组合优化问题。李宁等^[15]通过对每个粒子构造一个2L维空间并进行粒子位置向量整数化计算,得到了求解VRP的粒子群算法。在处理连续优化问题时,粒子群算法较容易与其它算法结合。若要求解AVRP,可以借鉴处理连续优化问题的经验,将模拟退火、免疫、杂交、自适应变异等算法思想引入粒子群算法中,克服其易收敛至局部最优的缺点。

3 前景预测

3.1 改进算法

通过分析上述几种智能算法的实质可以看出,不论这些算法的出身如何,它们均是思想上乘,但实现起来总有这样那样的不足之处。为了弥补这些不足,学者们为各类智能算法设计了大量的改进算法。提出AVRP后,如何依据AVRP量身打造改进算法,甚或算法之间强强联手,将是摆在学者们面前的新问题。这也是克服AVRP高复杂性的一条可行的方案。

3.2 新算法

若各类改进算法效果不明显,则AVRP的极其复杂性正是催生新算法的温床。目前活跃于其他领域的组合优化算法,不妨引进联盟运输调度领域中,根据AVRP的特点重新设计或改进算法,有可能会获得不错的效果,如人工鱼群算法^[16]等。

3.3 并行算法

AVRP求解难,从本质上来讲归因于其问题复杂性和模型不定性。对于复杂组合优化问题来讲,目前各类算法及其改进算法对大规模复杂组合优化问题的求解仍然效力有限。因此,设计并行算法求解AVRP将是一条行得通的重要路线。理论上讲,遗传算法、模拟退火算法、禁忌搜索算法、蚁群算法、粒子群算法均具有并行计算的潜质,并且也已有相应的并行算法活跃于VRP的求解中。从实现角度上来讲,并行算法的将来不再局限于局域网内几台机器主从式结构的联网求解,而是在网络环境下实现广域并行计算,像用电一样购买世界范围内加入网络的计算机的计算力,象这样的计算网络是网络研究中最初始也是最根本的一个分支。有了理论与实现的双重保证,相信网络环境下基于智能算法的并行算法求解AVRP将是大势所趋。

3.4 智能运输调度系统的构建

从AVRP的应用角度来看,为物流联盟设计一个功能全面的智能运输调度系统将是终极目标。在这样一个系统中,通过选择相应的模型,手工或自适应地调整参数,

获得AVRP的非劣解集。构建该系统可从数据组织、模型库构造、算法库管理、规则库构造、学习机制、解题机制等方面入手,逐步深入地整合为一。这样的系统国外已有雏形,但功能相当有限,因此功能强大的智能运输调度系统的构建将是学者们不断追求的目标。

参考文献:

- [1] 蔡延光,钱积新,孙优贤.智能运输调度系统模型库构造与管理[J].系统工程理论与实践,2000(9):83-90.
- [2] Fisher M L. Vehicle routing problem[J]. Operations Research and Management Science,1995(8):1-33.
- [3] Holland J H. Adaptation in Nature and Artificial System[M]. 2nd ed. Cambridge,MA:MIT Press,1992.
- [4] 祝崇俊,刘 民,吴 澄.供应链中车辆路径问题的研究进展及前景[J].计算机集成制造系统-CIMS,2001,7(11):1-6.
- [5] 张 涛,王梦光.遗传算法和3-OPT结合求解带能力约束的VRP[J].东北大学学报,1999,20(3):253-256.
- [6] Teodorovic D, Pavkovic G. A simulated annealing technique approach to the vehicle routing problem in the case of stochastic demand[J]. Transportation Planning and Technology, 1992,16(1):262-273.
- [7] 袁 健,刘 晋,卢厚清.随机需求情形VRP的退火网络解法[J].系统工程理论与实践,2002(3):109-113.
- [8] Glover F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence[J]. Computer and Operations Research, 1986(5):533-549.
- [9] Taillard E. Parallel iterative search method for vehicle routing problem[J]. Networks,1993(23):661-673.
- [10] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V. Distributed Optimization by Ant Colonies[C]//Proc. 1st European conf. Artificial Life. Pans, France: Elsevier, 1991: 134-142.
- [11] Murao H, Tohmata K, Konishi M, et al. Pheromone based transportation scheduling system for the multi-vehicle routing problem[C]//Proc IEEE Int Conf Syst Man Cybern. Tokyo: [s. n.], 1999:430-434.
- [12] 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,2003,25(1):39-44.
- [13] Kennedy J, Eberhart R. Particle Swarm Optimization[C]//Proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks. Perth, WA, Australia:[s. n.], 1995:1942-1948.
- [14] Fukuyama Y. Fundamentals of particle swarm techniques [C]//Lee K Y, El-Sharkawi M A. Modern Heuristic Optimization Techniques With Applications to Power Systems. [s. l.]:IEEE Power Engineering Society,2002:45-51.
- [15] 李 宁,邹 彤,孙德宝.车辆路径问题的粒子群算法研究[J].系统工程学报,2004,19(6):596-600.
- [16] 李晓磊,路 飞,田国会,等.组合优化问题的人工鱼群算法应用[J].山东大学学报:工学版,2004,34(5):64-67.