

文章编号:1672-058X(2012)05-0078-07

多目标路径规划问题的算法综述

潘斌斌

(重庆交通大学 管理学院,重庆 400074)

摘要:单目标路径优化模型难以更好的模拟实际生活中复杂多变的状况,相比而言多目标路径优化更贴近于现实,对实际问题更具有指导意义,也是近年来计算机科学和物流科学研究的一个热点问题,产生了众多的研究成果;为全面总结多目标路径优化算法的研究现状,综述了国内外多目标路径优化算法在不同背景下的应用及取得的进展,并按算法的构造方法进行了相应的分类;最后进行了总结分析了存在的问题,并指明其进一步的研究方向。

关键词:多目标;路径优化;NP 难题;精确算法;启发式算法

中图分类号:TP374

文献标志码:A

1 引言

路径规划问题指涉及在一个网络中,找出一条满足一系列约束的路线,且使一个目标或多个目标最优化的一类问题。路径规划问题是一类被广泛研究的问题,包括著名的旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP)、车辆路径规划问题(Vehicle Routing Problem, VRP)、应急疏散路线设计、救济品及危险品运输路线设计、物流配送优化等。路径选择时,通常考虑单个目标(如成本最小化)进行优化,而实际生活中这类问题是一个复杂的多目标问题,确定性的单目标的路径优化已不能满足实际需求,能提供的意义是有限的,多目标路线规划模型能更好的贴近现实,具有重要的科研价值和实际意义。在物流业大力发展、城市规划的发展、绿色环保的倡导下及单目标路径优化的片面性,多目标的路径优化研究逐渐成为研究的热点。在此对多目标路径规划问题的算法进行了综述,并展望了研究前景。

2 各种算法在多目标路线规划中的应用

一般情况下,多目标优化问题的各个子目标之间是矛盾的,一个子目标的改善有可能会引起另一个或另几个子目标的性能降低,即要同时使多个子目标一起达到最优值是不可能的,而只能在它们中间进行协调和折中处理,使各个子目标都尽可能地达到最优化。多目标优化问题不存在唯一的全局最优解,过多的非劣解是无法直接应用的,所以在求解时要寻找一个最终解。求最终解主要有三类方法^[1]:(1)生成法,即先求出大量的非劣解,构成非劣解的一个子集,然后按照决策者的意图找出最终解;(2)交互法,不先求出很多的非劣解,而是通过分析者与决策者对话的方式逐步求出最终解;(3)权重法,其主旨是将所有的目标函

数,依据其重要性乘以一个权值,然后求和,转化为单目标问题进行求解。而这些主要是通过算法来实现的。

大量文献分析表明:多目标路线规划问题的研究方法主要分为两大类,即精确算法和启发式算法。由于精确算法(如动态规划、整数规划等数学规划方法)难以解决大规模的复杂多目标路线规划问题,启发式优化方法在多目标路线规划问题研究中应用的较多。

2.1 整数规划法

整数规划(integer programming)主要应用于规模有限的多目标路线规划问题上。其基本思路是首先分析问题的特性,再构造出对应的整数规划模型,最后利用 Matlab、Lingo 等数学软件进行求解,可以直接给出路线的分配情况,但只有一个确定解。Alexander Stepanov 等人^[2]在疏散路线的设计中利用整数规划进行求解。HU ZhiHua^[3]针对集装箱多式联运紧急救济的网络,提出了多目标整数线性规划来进行集装箱供应链的路径选择,将多个目标进行整合成单个目标,最后通过传统的软件包进行求实现时间及成本最小化。

2.2 动态规划算法

动态规划算法(Dynamic programming)适用于解决那些可分解为重复子问题(overlapping subproblems)并具有最优子结构(optimal substructure)的问题,通常比其他普通算法节约更多时间。动态规划算法通常采用以下两种方式:(1)自顶向下,将问题划分为若干子问题,求解这些子问题并保存结果以免重复计算,该方法将递归和缓存结合在一起。(2)自下而上,先行求解所有可能用到的子问题,然后用其构造更大问题的解。

Konstantinos N 等^[4]针对多目标路线规划问题,将问题分解为一系列路线子问题,通过动态规划算法进行求解。Line Blander Reinhardt 等人^[5]针对条件和目标不可累加的多目标最短路问题,给出了一个通用的公式来处理一系列不可累加的条件,最后用动态规划算法进行求解。

2.3 启发式算法

多目标优化问题往往通过加权等方式转化为单目标问题,然后用数学规划的方法来求解,每次只能得到一种权值情况下的最优解。同时,由于多目标优化问题的目标函数和约束函数可能是非线性或不可微的,及随着问题规模的增大,问题的复杂度也相应增加,计算的时间也将呈指数级增加,影响了最优算法的效率。一般最优算法应用于数据规模较少的多目标路线规划问题中。对于涉及大规模的多目标路线规划问题,启发式算法(heuristic algorithms)提供了一种效率较高的求解途径。

针对多目标的旅行商问题,Jean-Francois Bérubé 等人^[6]提出了将多个目标转化为解决一个单目标的子问题,使所有目标转化为约束,并用基于可从前面子问题收集信息的启发式算法加快处理速度,解决了收集到奖金最大化且旅行费用最低的旅行商问题。针对双目标的带时间窗的车辆路径规划问题,Juliane Müller^[7]提出了一种启发式算法,实现总的运输车辆数和运输距离最小。首先,利用 Solomon^[8,9]提出的途程建构启发式算法(route construction heuristic)得到初始解,再将途程改善启发式算法(Route Improvement Heuristics)应用到当前解中减少车辆的数目和距离。以及在文献[10]和文献[11]中研究者针对多目标路径规划问题也提出了启发式算法进行求解。

2.4 元启发式算法

元启发式算法(meta-heuristic algorithms)是一种通用型的启发式算法,是对启发式算法的改进,优化机理不过分依赖待解问题的结构,结合了随机方法和搜索算法。主要包括遗传算法(genetic algorithm)、模拟退火算法(simulation annealing algorithm)、禁忌搜索算法(tabu search algorithm)、粒子群算法(particle swarm optimization)、蚁群算法(ant colony algorithm)、贪婪随机自适应搜索算法(Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)等。这些方法被逐渐引入到多目标路线规划问题研究中,并取得了一定的研究进展。

2.4.1 遗传算法

遗传算法(genetic algorithm)是一种借鉴生物界自然选择和进化机制发展起来的高度并行、随机、自适应搜索的仿真优化算法,它使用种群代表一组解,通过对当前种群进行选择、交叉和变异等一系列遗传操作,产生新一代种群,周而复始,直到满足终止条件得到包含近似最优解为止。

在多目标路线规划问题研究中,遗传算法往往通过以下方法对模型进行求解:与传统优化技术结合;将遗传算法同其他启发式方法相结合构造混合遗传算法来求解;模糊理论、权重法与遗传算法的结合。

在车辆路径规划问题(VRP)中,P. Lacomme 等人^[12]受非支配排序遗传算法(Non-dominated sorted genetic algorithm)的启发,构建了启发式算法来求解多目标的车辆路径规划问题。K. C. Tan 等人^[13]提出了混合的多目标进化算法(HMOEA),该方法具有专用的遗传算子,可变长度的表示法和局部搜索启发式法来求解决路线日程安排,同时使路径距离和卡车数最小化的多目标问题。许国银等人^[14]综合考虑战时配送VRP(vehicle routing problem)的多个评价目标,基于重要性的多目标分层优化思想,建立了完全分层优化模型,将进化算法和传统优化技术相结合,构造了模型的两层求解算法。H. C. W. Lau 等人^[15]考虑了多个仓库、多个顾客和多种物品,为实现总的运输距离,总的运输时间最优,提出模糊理论指导的非支配排序遗传算法2(FL-NSGA2)的多目标进化算法。WANG ChungHo 等人^[16]为使总的配送路线最小化及通过满足时间窗的要求使顾客对服务的满意度最大化,提出了基于贪婪算法、遗传算法的混合算法来求解多目标模型中的变量。以及在文献[17-19]中,其他研究者也提出了基于遗传算法的元启发式算法。在旅行商问题中,Funda Samanlioglu 等人^[20]提出了 memetic random-key 遗传算法。

在其他多目标路线优化问题中,井祥鹤等人^[21]提出了一种求解多式联运运输方式选择多目标优化问题的混合遗传算法,给出了染色体编码、遗传算子设计、染色体有效性判断和修正的方法。林勇等人^[22]在解决多目标运输优化问题的基于生成树的遗传算法(st-GA)中融入了 NSGA-II 算法,提出了一种新的生成树遗传算法(NSST-GA),采用精英保留和擂台法来进行遗传选择,算例结果表明新算法提高了收敛速度,防止了早熟收敛,较好的保持了种群多样性和算法的稳定性。以及在文献[23]中,其他研究者也提出了基于遗传算法的元启发式算法。

2.4.2 蚁群算法

蚁群算法(Ant Colony Optimization)是一种新型的模拟进化算法,由 M. Dorigo 等人^[24]首先提出。与其他元启发式算法不同,它采用分布构建解的流程,每只蚂蚁选择下一步时,需要参考整个种群的累积经验和启发式信息。ACO 算法求解路径优化问题的流程^[25]如下:(1) 蚂蚁群体初始化;(2) 循环以下过程直到满足终止条件:所有蚂蚁选路并释放信息素,信息素挥发,可选的全局操作;(3) 输出最优路径。

YUAN Yuan 等人^[26]针对危机物流管理问题,提出了一个多目标路径选择模型用来使沿通道转移的时间最小化和使路径复杂度最小化,并用蚁群算法进行了求解。Keivan Ghoseiri 等人^[27]针对多目标最短路径问题(MOSP),提出了一种基于多目标优化的蚁群算法(ACO)来解决双目标最短路径问题。FANG ZhiXiang 等人^[28]针对疏散路线的网络规划,提出了多目标优化来解决基于多层决策网络的疏散路线规划问题,最后利用蚁群优化算法进行求解。

2.4.3 粒子群算法

粒子群算法(Particle Swarm Optimization)和遗传算法相似,也是从随机解出发,通过迭代寻找最优解,但在规则上比遗传算法简单,不涉及交叉、变异操作,而是通过追随当前最优值来找到全局最优解。粒子群算法应用于多目标路径规划的研究中的文献相对较少。XU JiuPing 等人^[29]针对模糊随机环境下的带软时间窗的车辆路径问题(VRPSTW)。考虑如下两个目标:总的运输费用最小化;使所有顾客的平均服务水平最大化。提出了可变粒子的全局-局部-邻近粒子群优化算法(GLN-PSO-EP)用来求解该问题。

2.4.5 贪婪随机自适应搜索算法

贪婪随机自适应搜索算法(Greedy Randomized Adaptive Search Procedure, GRASP)是一种新的元启发式算法,主要包含贪婪函数、自适应过程、随机组成和局域搜索4个方面,由FEO等人^[30]提出。GRASP是一个启发式随机迭代过程,每次迭代过程包含两个阶段:构造阶段和局域搜索阶段。得益于GRASP在初始构造阶段采取了适当启发式策略,在计算速度上会比一般的启发式算法如遗传算法等快,随着问题规模的加大,速度上的优势会比较明显。

将GRASP应用与多目标路径优化研究方面的文献较少。在为危险物品选择交通路线时,Rafael Martí等人^[31]介绍了一种双目标优化模型,提出了用改进的GRASP进行求解。Rafael Martí等人做的主要改进是将随机分解方法RDE融入到构造阶段而提出了改进的GRASP。

2.4.6 多目标遗传局部搜索算法

多目标遗传局部搜索算法(Memetic算法)是求解多目标优化问题最有效地方法之一,融合了局部搜索和进化计算,具有较高的全局搜索能力。这种算法加强了搜索算法的目的性,加快了收敛到局部最优解的速度。Andrzej Jaskiewicz等人^[32]针对双目标的旅行商问题提出了融入Pareto局部搜索算法的Pareto memetic算法,经实验证明该算法有效地改进了计算结果。

2.4.7 禁忌搜索算法

禁忌搜索算法(Tabu Search Algorithm)是一种亚启发式搜索算法,从一个初始可行解出发,选择一系列的特定搜索方向(移动)作为试探,选择实现让特定的目标函数值变化最多的移动。王君等人^[33]在针对带模糊预约时间的多目标车辆路径问题,提出了多目标禁忌搜索算法。

2.5 其他方法

(1) Zimmermann方法(模糊多目标线性规划)和广义简约梯度算法。考虑不精确的单位费用和路线方面的运输时间(广义模糊数)的多目标多模式运输问题,A. Ojha等人^[34]依据Zimmermann方法和模糊等价性措施将多目标优化减少到单目标优化问题,然后利用广义简约梯度算法^[35](GRG)用来从一大堆数据中找到最优的解决方案。

(2) 反向演算法。针对基于时间的双标准最短路问题(TdBiSP),Horst W. Hamacher等人^[36]提出了反向演算法进行求解。

(3) 整合参数化方法和模糊聚类方法。模糊聚类方法是以隶属度作为聚类的出发点,以模糊等价矩阵作为启发规则的算法。Physics Letters A等人^[37]针对多目标动态优化的最优化路径规划问题,提出了整合参数化方法和模糊聚类方法进行求解。

(4) Martin算法。Tristram Gräbener等人^[38]针对基于时间的多目标最优路径提出Martin算法进行求解。

3 结束语

虽然多目标路径规划问题的研究已取得了一定的研究成果,但由于在这一领域的大部分问题都没有唯一的全局最优解且具有NP难题特性,而各种算法又都有其自身的缺陷,至今尚未有非常高效的解决方法和理论。通过对路径规划领域的多目标优化算法的综述,归纳了多目标路径优化算法的几个未来研究方向:

(1) 文献中研究的大部分多目标路径优化问题基于静态环境下的居多,难于应用与现实中复杂多变的环境。相对静态环境下的多目标路径优化问题,动态环境下的多目标路径优化问题更贴近实际应用。如时变环境下的多目标路径优化将是未来研究的重点。

(2) 与精确算法相比,元启发式算法尽管相对简单、灵活,计算效率高,但不一定能保证所得解的可行性和全局最优性,甚至在多数情况下,无法分析所得解同最优解的近似程度。因此,为了克服各种元启发式算法的缺点和发挥其各自的优势,将两种或两种以上启发式算法结合起来形成更加高效的混合智能启发算法,将是多目标路径优化算法研究的重要方向之一。

(3) 多目标优化问题难以找到一个最优解,大多是在各个目标间权衡、协调寻求一个折中解。而将模糊理论引入到多目标规划问题中,能够较好的考虑不同性质的、相互矛盾的多个目标的满意程度,使各个目标在约束条件下都最大程度地实现。为解决多目标优化问题提供了新的途径,如模糊理论指导下的遗传算法等将成为未来多目标路径优化算法的研究的一个热点。

参考文献:

- [1] 肖晓伟,肖迪,林锦国,肖玉峰. 多目标优化问题的研究概述[J]. 计算机应用研究,2011,28(3):805-808
- [2] ALEXANDER S, JAMES M. Multi-objective evacuation routing in transportation networks [J]. European Journal of Operational Research,2009,198(2):435-446
- [3] HU ZH H. A container multimodal transportation scheduling approach based on immune affinity model for emergency relief [J]. Expert Systems with Applications,2011,38(3):2632-2639
- [4] KONSTANTINOS N, ANDROUTSOPOULOS K. Solving the multi-criteria time-dependent routing and scheduling problem in a multimodal fixed scheduled network [J]. European Journal of Operational Research,2009,1(1):18-28
- [5] LINE B R, DAVID P. Multi-objective and multi-constrained non-additive shortest path problems [J]. Computers & Operations Research,2011,38(3):605-616
- [6] JEANn-FRANÇOIS ÉRUBÉ, MICHEL G, JEAN-YVES P. An exact ϵ -constraint method for bi-objective combinatorial optimization problems: Application to the Traveling Salesman Problem with Profits [J]. European Journal of Operational Research,2009,194(1):39-50
- [7] JULIANE M. Approximative solutions to the bicriterion Vehicle Routing Problem with Time Windows [J]. European Journal of Operational Research,2010,202(1):223-231
- [8] MARIUS M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints[J]. Operations Research,1987,35(2),254-264
- [9] MARIUS M, JACQUES D. Time window constrained routing and scheduling problems[J]. Transportation Science,1988,22(1),1-13
- [10] CHANG T. Best routes selection in international intermodal networks [J]. Computers & Operations Research,2008,35(9):2877-2891
- [11] CARAMIA M, GUERRIERO F. A heuristic approach to long-haul freight transportation with multiple objective functions [J]. European Journal of Operational Research,2009,37(3):600-614
- [12] LACOMME P, PRINS C, SEVAUX M. A genetic algorithm for a bi-objective capacitated arc routing problem [J]. Computers & Operations Research,2008,35(9):3473-3493
- [13] TAN K C, CHEW Y H, LEE L H. A hybrid multi-objective evolutionary algorithm for solving truck and trailer vehicle routing problems [J]. European Journal of Operational Research,2006,172(3):855-885
- [14] 许国银,熊孝和,林涛. 基于 GASA 算法的成品燃油战时公路配送路径优化[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版,2007,8(2):180-185
- [15] LAU H C W, CHAN T M, TSUI W T, et al. A fuzzy guided multi-objective evolutionary algorithm model for solving transportation problem [J]. Expert Systems with Applications,2009,36(4):8255-8268
- [16] WANG C, LI C. Optimization of an established multi-objective delivering problem by an improved hybrid algorithm [J]. Expert Systems with Applications,2011,38(4):4361-4367

- [17] NICOLAS J, FRÉDÉRIC S, EL-GHAZALI T. An evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with route balancing [J]. *Computers & Operations Research*, 2009, 195(3): 761-769
- [18] KEIVAN G, SEYED F. Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm [J]. *Applied Soft Computing*, 2010, 10(4): 1096-1107
- [19] 徐慧英, 赵建民, 张泳, 朱信忠. 改进 NSGA II 算法在车辆路径多目标优化问题中的应用 [J]. *计算机工程与科学*, 2010, 32(10): 117-121
- [20] FUNDA S, WILLIAM G, FERRELL J, et al. A memetic random-key genetic algorithm for a symmetric multi-objective traveling salesman problem [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2008, 55(2): 439-449
- [21] 井祥鹤, 魏冬峰, 周献中. 运输方式选择多目标优化问题的混合遗传算法 [J]. *计算机工程与应用*, 2008, 44(6): 210-212
- [22] 林勇, 张洪伟, 沈哲宇. 改进 ST-GA 遗传算法在多目标运输问题中的应用 [J]. *西南民族大学学报: 自然科学版*, 2009, 35(6): 1161-1164
- [23] 高庆春, 韩应征, 张立毅. 军事应急物流中多目标路径优化的研究 [J]. *信息技术*, 2010, 5(28): 38-38
- [24] DORIGO M, MANIEZZO V, COLORNI A. The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B*, 1996, 26(1): 29-41
- [25] DORIGO M, MANIEZZO V, COLORNI A. Ant colony optimization a new meta-heuristic [J]. *Evolutionary Computation*. 1999: 1470-1477
- [26] YUAN Y, WANG D. Path selection model and algorithm for emergency logistics management [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2009, 56(3): 1081-1094
- [27] KEIVAN G, BEHNAM N. An ant colony optimization algorithm for the bi-objective shortest path problem [J]. *Applied Soft Computing*, 2010, 10(4): 1237-1246
- [28] FANG ZH X, ZONG X L, LI Q Q, et al. Hierarchical multi-objective evacuation routing in stadium using ant colony optimization approach [J]. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(3): 443-451
- [29] XU J P, YAN F, STEVEN L. Vehicle routing optimization with soft time windows in a fuzzy random environment [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, In Press, Corrected Proof, Available online, 2011(4): 20
- [30] FEO T A, RESENDE M G C. A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem [J]. *Operations Research Letters*, 1989, 8(4): 67-71
- [31] RAFAEL M, JOSÉ L G, Abraham Duarte. Heuristics for the bi-objective path dissimilarity problem [J]. *Computers & Operations Research*, 2009, 36(11): 2905-2912
- [32] ANDRZEJ J, PIOTR Z. Pareto memetic algorithm with path relinking for bi-objective traveling salesperson problem [J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 193(3): 885-890
- [33] 王君, 李波. 带模糊预约时间的车辆路径问题的多目标禁忌搜索算法 [J]. *计算机集成制造系统*, 2011, 17(4): 858-866
- [34] OJHA A, DAS B, MONDAL S, et al. An entropy based solid transportation problem for general fuzzy costs and time with fuzzy equality [J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2009, 50(1-2): 166-178
- [35] LASDON L S, WAREN A D, JAIN A, et al. Heuristics for the bi-objective path dissimilarity problem [J]. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 1978, 4(1)
- [36] HORST W H, STEFAN R, STEVANUS A T. Algorithms for time-dependent bicriteria shortest path problems [J]. *Discrete Optimization*, 2006, 3(3): 238-254
- [37] ZAMIRIAN M, KAMYAD A, FARAH M. A novel algorithm for solving optimal path planning problems based on parametrization method and fuzzy aggregation [J]. *Physics Letters A*, 2009, 373(38): 3439-3449
- [38] TRISTRAM G, ALAIN B, YVES D. Time dependent multiobjective best path for multimodal urban routing [J]. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 2010, 36(1): 487-494

Review of the Algorithms of Multi-objective Routing Programming Problems

PAN Bin-bin

(School of Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Single-objective routing optimization model is difficult to simulate complex and changeable situation in real life, however, multi-objective routing optimization is more close to reality, has more guiding significance to solving practical problems, is a hot topic in the research of computer science and logistics science and produces a lot of products. In order to overall summarize the research status quo of multi-objective routing optimization algorithms, this paper reviews the application of multi-objective routing optimization algorithms in different backgrounds at home and abroad and its progress, makes corresponding classification according to composing methods of the algorithms, makes summarization, analyzes the existed problems and proposes the direction for further research.

Key words: multi-objective; routing optimization; NP problem; exact algorithm; heuristic algorithm

责任编辑:代小红

~~~~~  
(上接第 77 页)

## A Monitoring Method for SQL Server Security Based on C#

**CHEN Jian-hua**

(Department of Computer, Guangdong Songshan Vocational College, Guangdong Shaoguan 512126, China)

**Abstract:** In order to protect the security of SQL database server, this paper proposes a kind of monitoring method for SQL server security based on C# to realize dynamic monitoring on SQL SERVER database server and to find out the security status of SQL database server through monitoring the change of SQL database server on time, analyzes the reasons for the change and takes measures in time so that the security of SQL database server is protected. A new idea on how to protect the security of database is pointed out by using programs to realize the monitoring and management on database, which is a kind of complement and expanding for security management and security protection of database service and which is of important significance in real work.

**Key words:** SQL server; database access control; data-table monitoring

责任编辑:代小红