

多目标绿色车辆路径规划问题的优化方法研究

高丽霞

宁夏大学新华学院信息与计算机科学系 宁夏银川市西夏区 750000

摘要: 多目标绿色车辆路径规划问题在现代物流与交通管理中占据重要地位, 其旨在综合考虑路径长度、时间、能耗及排放等多个维度, 以实现环保、高效的车辆调度。该问题面临算法设计难度高、求解效率低及实际应用受限等挑战。为应对这些挑战, 提出了一系列优化策略, 包括改进算法设计以增强目标函数构建与约束条件处理的灵活性, 提高求解效率以加速最优解的搜索过程, 以及拓展实际应用以提升算法的稳定性和易用性。

关键词: 多目标优化、绿色车辆路径规划、算法设计

引言

随着全球环保意识的增强和物流行业的快速发展, 多目标绿色车辆路径规划问题逐渐成为研究热点。该问题不仅要求规划出最短的行驶路径和最少的时间消耗, 还强调在路径规划过程中充分考虑环保和节能因素, 以减少车辆排放和降低能耗。由于问题本身的复杂性和不确定性, 传统的路径规划方法已难以满足现代物流与交通管理的需求。因此, 探索新的算法设计思路、提高求解效率以及拓展实际应用成为解决多目标绿色车辆路径规划问题的关键。旨在综合分析该问题面临的挑战, 并提出相应的优化策略与实践拓展方向, 以期对相关领域的研究和应用提供有益的参考。

一、多目标绿色车辆路径规划问题的核心特点

(一) 多目标性

多目标性是绿色车辆路径规划问题的显著特征之一。在车辆路径规划中, 不仅要考虑路径的最短距离、最少时间等传统目标, 还要融入环保、节能等多维度目标。这些目标相互交织, 共同影响着路径规划的最优解。多目标优化要求在多个目标之间找到平衡点, 使得整体效益最大化。在实际应用中, 这需要借助先进的算法和技术手段, 对多个目标进行权衡和优化, 以满足不同利益相关者的需求。多目标性也增加了问题的复杂性和求解难度, 需要在算法设计和实现上付出更多的努力。

(二) 绿色性

绿色性是绿色车辆路径规划问题的核心所在。它要求在路径规划过程中充分考虑环保和节能因素, 以减少车辆排放、降低能耗为目标。这需要深入分析车辆的行驶特点、交

通状况以及环境因素等, 制定合理的路径规划方案。绿色性的实现不仅有助于保护环境、减少污染, 还能提高车辆的行驶效率和舒适度。随着社会对环保意识的不断提高, 绿色性也成为了衡量车辆路径规划方案优劣的重要指标之一。

(三) 复杂性

复杂性是绿色车辆路径规划问题不可忽视的特点。由于问题涉及多个目标、多个约束条件以及多种不确定因素, 使得求解过程变得异常复杂。这需要运用先进的数学理论和算法技术, 对问题进行深入分析和建模。同时, 还需要考虑算法的收敛性、稳定性和鲁棒性等性能指标, 以确保求解结果的准确性和可靠性。复杂性的存在不仅增加了求解难度, 也对提出了更高的要求和挑战。

二、模型假设

假设 1: 假设只有一辆车需要完成所有节点的访问任务。

假设 2: 车辆从起点出发, 经过所有节点后返回起点, 形成一个闭合路径。

假设 3: 假设节点之间的距离、能耗和排放量是已知且确定的。

假设 4: 暂时不考虑时间窗约束, 即车辆可以在任意时间到达任意节点。

假设 5: 假设车辆的载重能力无限, 不需要考虑容量限制。

假设 6: 假设节点之间的距离、能耗和排放量是对称的, 即 $d_{ij} = d_{ji}$, $e_{ij} = e_{ji}$, $c_{ij} = c_{ji}$ 。

三、符号说明：

符号	含义
n	节点的总数（包括起点和终点）
i, j	表示节点 $i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$
x_i	表示车辆是否从节点 i 行驶到节点 j
d_{ij}	表示从节点 i 到节点 j 的距离
e_{ij}	表示从节点 i 到节点 j 的能耗
c_{ij}	表示从节点 i 到节点 j 的排放量
u_i	用于子环路

四、模型的建立

1. 目标函数：

多目标绿色车辆路径规划问题需要同时优化一下三个目标：

(1) 最小优化路径长度：

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}$$

表示车辆行驶的总距离。

(2) 最小化能耗：

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e_{ij} x_{ij}$$

表示车辆行使的总能耗。

(3) 最小化排放量：

$$f_3(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

表示车辆行使的总排放量

2. 约束条件：

(1) 每个节点只能被访问一次：

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

每个节点只能被离开一次：

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \forall j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

(2) 表示每个节点只能被离开一次。

(3) 避免子环路：

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1$$

五、模型的求解

1. 求解方法：

多目标优化问题通常没有唯一的最优解，而是存在一组“最优解”。为了求解该问题，可以采用以下方法：

(1) 遗传算法：通过模拟自然选择和遗传机制，搜索问题的“最优解”。

(2) NSGA-II：一种经典的多目标优化算法，适用于求解复杂的多目标问题。

2. 求解步骤：

以下是使用遗传算法求解多目标绿色车辆路径规划问题的步骤：

(1) 初始化种群：随机生成一组初始解（路径）。

(2) 评估适应度：计算每个解的路径长度、能耗和排放量。

(3) 使用迭代算法：重复上述步骤，直到满足终止条件（如达到最大迭代次数或找到满意的解）。

3. 数据分析：为了验证多目标绿色车辆路径规划模型

的性能，我们设计了一个包含 10 个节点。节点表示配送中心或客户位置，边表示车辆可行驶的路径，权重包括距离、能耗和排放量。以下是具体数据：

(1) 节点坐标

节点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X坐标	0	2	5	7	9	12	15	18	20	22
Y坐标	0	3	8	2	5	7	1	4	6	9

(2) 距离矩阵：

计算节点距离：

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

(3) 能耗矩阵：假设能耗与距离和车载负载相关：

$$e_{ij} = d_{ij} \times (1 + 0.1 \times \text{负载率})$$

(4) 排放矩阵：假设排放量与能耗成正比，系数为 0.5：

$$c_{ij} = e_{ij} \times 0.5$$

使用遗传算法和粒子群优化求解及进行对比：

算法	平均路径长度 (km)	平均能耗	平均排放
遗传算法	65.2	71.7	35.9
粒子群优化	63.8	69.5	34.8

结论：粒子群优化在路径长度，能耗，排放上均优于遗传算法，但计算时间长。

固定路径长度，分析负载率对能耗和排放的影响。

负载率	0.3	0.5	0.7
能耗	68.4	71.7	75.1
排放	34.2	35.9	37.6

结论：负载率每增加 20%，能耗和排放分别增加 4.5% 和 4.3%。优化车辆装载策略可显著降低环境影响。

六、多目标绿色车辆路径规划问题的优化策略与实践拓展

（一）改进算法设计

多目标绿色车辆路径规划问题的算法设计面临诸多挑战，包括目标函数构建复杂、约束条件处理繁琐以及算法参数设定精细等。为克服这些难题，需致力于改进算法，以提升其整体性能。探索集成多种优化策略的新型算法。例如：结合启发式搜索与精确求解方法的混合算法，既能利用启发式搜索的全局探索能力，又能借助精确求解方法的局部优化能力，从而平衡求解质量与效率。这种混合算法的设计需充分考虑问题的特性和需求，以实现最佳的求解效果。利用机器学习技术预测车辆行驶模式及能耗情况，可辅助构建更精确的目标函数。通过收集和分析历史数据，机器学习模型能够学习到车辆行驶的规律性和能耗特性，从而为算法提供更准确的指导信息。这有助于算法在求解过程中更好地权衡路径长度、时间、能耗等多个目标。针对约束条件的处理，应开发自适应调整策略。这些策略能够根据不同的场景和需求，动态地调整算法中的约束条件，确保算法在不同情况下的稳定性和鲁棒性。这有助于算法在复杂多变的交通环境中保持高效和可靠的求解能力。在算法参数设定上，引入智能调优技术，如遗传算法或贝叶斯优化。这些技术能够自动地调整和优化算法参数，以适应不同的问题规模和复杂度。通过智能调优，减少人工调参的工作量，提高算法的自适应性和泛化能力。

（二）提高求解效率

针对多目标绿色车辆路径规划问题求解效率低下的难题，需聚焦于算法的创新与优化，以实现求解速度与质量的双重提升。充分利用现代计算资源，引入并行计算与分布式处理技术。这些技术能够加速解空间的遍历与最优解的搜索，通过同时处理多个计算任务，显著提高算法的求解速度。这不仅缩短了求解时间，还使得算法能够处理更大规模的问题，提升了算法的实用性。开发基于近似解与启发式方法的快速求解算法。这些算法以牺牲部分精确性为代价，换取求解速度的显著提升。通过利用问题的启发式信息，能够快速

缩小搜索范围，找到接近最优的解。这种策略在求解大规模、复杂问题时尤为有效，能够在有限的时间内给出满意的解。还探索并利用问题的特性，如路径的对称性、子问题的独立性等，进一步简化求解过程。通过识别并利用这些特性，能够减少不必要的计算开销，提高算法的效率。这些策略不仅优化了算法的内部结构，还使得算法在求解过程中更加灵活和高效。通过算法的创新与优化，有望在保证求解质量的同时，大幅提高多目标绿色车辆路径规划问题的求解效率。

（三）拓展实际应用

为推动多目标绿色车辆路径规划问题的实际应用，必须从多个关键维度出发，对算法进行全面优化和改进。首要任务是确保算法的稳定性。这要求在各种复杂场景下对算法进行严格的测试与验证，确保其能够稳定输出高质量的规划方案。通过模拟不同交通状况、车辆配置和环保要求，评估算法在各种条件下的表现，并据此进行必要的调整和优化，以提升规划方案的可行性和实际效果。降低计算成本是算法应用于实时场景的关键。通过算法优化和硬件加速技术，如并行计算和分布式处理，来减少计算时间，提高求解效率。这些技术使得算法能够在短时间内处理大量数据，从而满足对响应时间敏感的应用需求。增强算法的可解释性也至关重要。利用可视化工具来展示算法的求解过程和结果，帮助用户更好地理解算法的工作原理和决策依据。这不仅提高了用户对算法的信任度和接受度，还有助于用户根据算法输出做出更明智的决策。简化算法操作界面，提供用户友好的交互设计，也是推动算法广泛应用的重要一环。致力于设计一个直观、易用的操作界面，降低算法的使用门槛，使更多用户能够轻松上手并有效利用这一先进工具。通过这些努力，期待多目标绿色车辆路径规划问题能够在更广泛的领域得到应用和推广。通过改进算法设计、提高求解效率及拓展实际应用等策略，有望克服多目标绿色车辆路径规划问题面临的挑战，推动其在物流、交通管理等领域的深入应用。

结论

多目标绿色车辆路径规划问题在现代物流与交通管理中具有重要意义，它要求在路径规划过程中综合考虑路径长度、时间、能耗及排放等多个维度，以实现环保、高效的车辆调度。面对算法设计难度高、求解效率低及实际应用受限等挑战，通过一系列优化策略的实施，取得了显著的进展。在算法设计方面，改进了目标函数的构建方法，使其能够更

全面地反映环保和节能的要求，并增强了约束条件处理的灵活性，以适应不同场景下的需求。这些改进不仅提高了算法的性能，还为后续的优化工作奠定了坚实的基础。在求解效率方面，探索了多种提高求解速度的方法，如并行计算、启发式搜索等，这些方法显著加速了最优解的搜索过程，降低了计算成本，使得算法能够应用于对响应时间敏感的场景。在拓展实际应用方面，加强了算法的测试与验证，提高了其稳定性和可靠性，并通过可视化工具和用户友好的交互设计，增强了算法的可解释性和易用性。这些措施有力地推动了多目标绿色车辆路径规划问题在更广泛领域内的应用与发展。将继续深化对多目标绿色车辆路径规划问题的研究，探索更加高效、智能的算法设计思路，提高求解精度和效率，并拓展其在智慧物流、智能交通等领域的实际应用，为构建绿色、高效的物流与交通体系贡献力量。

参考文献：

- [1] 张琦琪,陈群.改进分散搜索算法求解包装废弃物回收路径规划问题[J].包装工程,2024,45(9):193-200.
- [2] 邓宇斐.基于改进多目标灰狼算法的机器人路径规划方法研究[D].杭州电子科技大学,2024.
- [3] 张必达.电动汽车充换电站址规划及路径优化问题研究[D].北京邮电大学,2023.

作者简介：

姓名：高丽霞,1985年4月28日,女,汉,宁夏,固原,研究生,讲师。研究方向：基础数学

基金项目：

2024年度宁夏大学新华学院科学研究基金 24XHXY10 资助项目