

遗传算法求解旅行商问题（TSP）的实验研究

薛志臣

七彩宝（苏州）科技有限公司 江苏苏州

【摘要】旅行商问题（TSP）作为经典的组合优化难题，广泛应用于路径规划与物流调度等领域。传统算法在求解大规模 TSP 时效率较低，难以满足实际需求。本文围绕遗传算法在 TSP 问题中的应用展开研究，提出一种基于改进遗传算子的求解策略，通过优化交叉、变异机制和引入局部搜索策略，提升算法收敛速度与解的质量。实验结果表明，该方法在多个标准测试数据集中均取得较优路径长度，验证了其有效性与稳定性，为复杂优化问题提供了新的解决思路。

【关键词】遗传算法；旅行商问题；路径优化；交叉变异；组合优化

【收稿日期】2025 年 5 月 16 日

【出刊日期】2025 年 6 月 7 日

【DOI】10.12208/j.aics.20250017

Experimental study on solving Traveling Salesman Problem (TSP) with genetic algorithm

Zhichen Xue

Qicaibao (Suzhou) Technology Co., Ltd, Suzhou, Jiangsu

【Abstract】 As a classic combinatorial optimization problem, the Traveling Salesman Problem (TSP) is widely applied in fields such as path planning and logistics scheduling. Traditional algorithms exhibit low efficiency in solving large-scale TSP, making it difficult to meet practical needs. This paper focuses on the application of genetic algorithms in TSP, proposing a solution strategy based on improved genetic operators. By optimizing crossover and mutation mechanisms and introducing a local search strategy, the algorithm's convergence speed and solution quality are enhanced. Experimental results show that this method achieves superior path lengths in multiple standard test datasets, verifying its effectiveness and stability. It provides new solutions for complex optimization problems.

【Keywords】 Genetic algorithm; Traveling Salesman Problem (TSP); Path optimization; Crossover and mutation; Combinatorial optimization

引言

旅行商问题（TSP）是运筹学与计算机科学中最具代表性的 NP 难问题之一，其核心在于寻找一条最短路径，使旅行商访问所有城市且仅一次并最终返回起点。随着城市数量的增加，问题的求解复杂度呈指数级增长，传统枚举法和启发式算法难以在合理时间内获得满意解。探索高效智能算法成为当前研究的重点方向。遗传算法作为一种模拟自然选择过程的全局优化算法，在处理复杂搜索空间方面展现出良好潜力。本文旨在通过改进遗传算法的关键操作机制，提升其在 TSP 问题中的求解能力，为类似优化问题提供可借鉴的解决方案。这一研究不仅具有理论价值，也对现实中的路径优化场景具有重要应用意义。

1 旅行商问题与遗传算法的基本原理

旅行商问题（TSP）是组合优化领域中最具代表性的 NP 难问题之一，其目标是在给定一组城市及相互之间的距离条件下，寻找一条访问每个城市且仅一次并最终返回起点的最短路径。该问题在物流配送、交通调度、集成电路设计等多个实际场景中具有广泛的应用背景。由于其计算复杂度随着城市数量的增加呈指数级增长，传统的穷举法和确定性算法在面对大规模实例时往往效率低下，难以满足实时性和精度要求。研究高效智能优化算法成为解决此类问题的关键方向。

遗传算法（Genetic Algorithm, GA）作为一种模拟自然选择与遗传机制的随机搜索算法，在求解 TSP 等复杂优化问题中展现出良好的全局搜索能力。其核心思想是通过编码、适应度评估、选择、交叉和变异等操作模拟种群进化过程，逐步逼近最优解^[1]。在 TSP 问

题中,个体通常以城市访问顺序的排列形式进行染色体编码,并通过路径长度作为适应度函数来引导种群进化方向。标准遗传算法虽然具有较强的鲁棒性,但在实际应用中仍面临收敛速度慢、易陷入局部最优等问题,影响了算法的整体性能。

为提升遗传算法在 TSP 问题中的求解效率,研究者们不断探索改进策略,主要集中在交叉算子、变异机制、种群多样性保持以及局部搜索融合等方面。采用部分映射交叉(PMX)、顺序交叉(OX)等专用交叉方式可有效保留优质路径片段;引入逆转变异或交换变异有助于增强种群多样性;结合 2-opt、3-opt 等局部优化技术则可在迭代过程中进一步精炼路径结构。这些改进措施共同构成了提高遗传算法求解质量与稳定性的关键技术基础,也为后续实验设计与分析提供了理论支撑。

2 遗传算法在 TSP 问题中的关键挑战

在将遗传算法应用于旅行商问题(TSP)求解的过程中,尽管其具备较强的全局搜索能力和适应性,但在实际操作中仍面临诸多关键技术挑战。其中,如何有效表示解空间并设计合适的遗传操作是影响算法性能的核心因素之一。由于 TSP 的解为城市访问顺序的排列组合,传统的二进制编码并不适用,需采用排列编码方式,这使得交叉和变异操作必须满足路径合法性要求,避免出现重复访问或遗漏城市的情况。设计既能保留优质基因片段又能增强种群多样性的交叉与变异算子成为研究难点。

另一个关键问题是早熟收敛现象的控制。在标准遗传算法中,随着进化代数的增加,种群中的个体趋于相似,容易陷入局部最优解,导致搜索停滞。这一现象在大规模 TSP 实例中尤为明显,表现为算法收敛速度下降、解的质量波动加剧。造成早熟收敛的主要原因包括选择压力不足、种群多样性下降以及适应度函数设计不合理等。为此,研究者提出了多种改进策略,如引入锦标赛选择机制、采用共享函数维持种群多样性、动态调整交叉与变异概率等,以期在探索与开发之间取得良好平衡。

遗传算法在求解旅行商问题(TSP)时,虽然具备较强的全局搜索能力,能够在大规模解空间中有效寻找潜在优质路径,但其在局部优化方面的表现相对薄弱。单纯依赖遗传操作难以对路径中的局部结构进行精细化调整,导致最终解的质量受限^[2-6]。为弥补这一不足,研究中常采用混合策略,将遗传算法与局部搜索技术相结合,以增强算法的整体寻优能力。常见的做法

是在每一代种群进化完成后,对部分优质个体应用 2-opt、3-opt 或 Lin-Kernighan 等启发式优化方法,进一步优化其路径结构。尽管此类混合策略能显著提升解的精度,但也相应增加了算法的计算开销,延长了运行时间。在实际应用中,如何在保证解质量的前提下控制算法复杂度,合理平衡精度与效率之间的关系,是提升遗传算法综合性能的关键所在。

3 改进型遗传算法的设计与实现

针对传统遗传算法在求解旅行商问题(TSP)中存在的收敛速度慢、易陷入局部最优以及搜索效率低等问题,研究者提出了一种改进型遗传算法。该算法在标准 GA 框架基础上,引入了优化的交叉与变异算子,并结合局部搜索策略,以提升其全局寻优能力和计算效率。其中,交叉操作采用改进的部分映射交叉(PMX)机制,在保留优质路径片段的同时增强基因重组的有效性;变异操作则融合了逆转变异与插入变异,以动态扰动种群结构,防止早熟收敛。为避免算法在进化过程中丢失高质量个体,设计了基于精英保留策略的选择机制,确保每一代中最优个体能够延续至下一代。

在算法实现层面,改进型遗传算法采用了基于排列编码的城市序列表示方法,确保每个染色体对应一条合法的访问路径。适应度函数以路径总长度作为评估依据,并引入排名选择机制替代传统的轮盘赌方式,以增强选择压力并提高种群进化效率。设置动态调整的交叉率与变异率,使算法在初期具有较强的探索能力,在后期则更侧重于局部开发,从而实现全局与局部搜索能力的自适应平衡。为了进一步提升路径质量,算法在每一代进化完成后嵌入 2-opt 局部优化策略,对当前代中部分优质个体进行邻域搜索,以此改善路径结构并加快收敛速度。

该改进型遗传算法已在多个标准 TSP 测试实例上进行了实验验证,包括 TSPLIB 中的 cil51、st70、pr152 等典型问题。实验结果表明,相较于传统遗传算法,改进型算法在平均路径长度、收敛速度及稳定性方面均有显著提升^[7]。尤其在城市规模较大的情况下,其优越性更为明显,能够在较少迭代次数内逼近已知最优解。这一成果不仅拓展了遗传算法在组合优化问题中的应用边界,也为智能优化算法在实际路径规划场景中的落地提供了技术支持。通过不断优化算法参数与结构,有望在未来进一步提升其鲁棒性与泛化能力,满足更复杂环境下 TSP 问题的高效求解需求。

4 实验结果与性能分析

为验证改进型遗传算法在求解旅行商问题(TSP)

中的有效性与稳定性,本文基于多个标准测试实例进行了系统性实验,并对算法的性能表现进行了深入分析。实验过程中,选取了若干具有代表性的 TSP 问题作为测试基准,涵盖了不同城市规模和空间分布特征的案例,以全面评估算法在复杂环境下的适应能力。通过与传统遗传算法及其他优化方法进行对比分析,重点考察了改进型算法在收敛速度、路径优化能力和种群多样性保持等方面的表现。

在收敛特性方面,改进型遗传算法展现出更优的进化趋势。由于引入了动态调整的交叉率与变异率机制,使得算法能够在进化初期保持较强的种群多样性,从而具备良好的全局探索能力;而在后期则逐步增强局部开发能力,有效提升了收敛效率。相较于传统 GA,该算法在相同迭代次数下能够更快地逼近高质量解,且路径长度下降趋势更为平稳,避免了早熟收敛带来的搜索停滞问题。这一特性表明,算法在平衡探索与开发之间取得了较好的协调效果。

从路径优化质量的角度来看,改进型遗传算法相较于传统方法展现出更优的求解能力。在多个测试案例中,该算法能够持续生成更短的旅行路径,明显优于标准遗传算法及其他启发式优化方法。通过对进化过程中每一代最优个体的路径结构进行可视化分析可以发现,改进型算法在关键路径段落上表现出更高的连通性与逻辑合理性,有效避免了不必要的绕行和路径交叉现象,从而显著缩短了整体行程距离^[8]。在此基础上,引入 2-opt 局部搜索策略进一步增强了算法对局部结构的优化能力,使得每次迭代后都能对当前优质解进行精细化调整。这种全局搜索与局部优化相结合的混合策略,不仅提升了算法的寻优效率,也增强了其在面对复杂城市分布时的适应能力,使最终输出的路径更具实用性和稳定性。

在稳定性与鲁棒性方面,改进型遗传算法同样表现出色。多次独立运行的结果显示,算法在不同初始种群条件下所得最优解的波动较小,说明其具有较强的稳定性和可重复性。在面对城市数量变化较大或分布不规则的问题时,算法仍能保持较好的求解能力,显示出较高的泛化性能。这为算法在实际应用中的推广提供了理论依据和技术支撑,也为后续研究提供了可行的方向。通过不断优化参数配置和引入新的改进机制,有望进一步提升算法的整体性能,满足更多实际场景

下 TSP 问题的高效求解需求。

5 结语

本文围绕遗传算法在旅行商问题(TSP)求解中的应用展开研究,针对传统算法存在的收敛速度慢、易陷入局部最优等问题,提出了一种改进型遗传算法。通过优化交叉与变异机制、引入局部搜索策略及动态调整参数,有效提升了算法的搜索效率与解的质量。实验结果表明,改进型遗传算法在多个测试实例中均表现出良好的收敛性、稳定性和优化能力,验证了其在复杂组合优化问题中的可行性与实用性。该研究不仅为 TSP 问题的求解提供了新的思路,也为智能优化算法在实际路径规划中的应用拓展了空间。

参考文献

- [1] 黄傲,李敏,曾祥光,等.基于 PPO 的自适应杂交遗传算法求解旅行商问题[J].计算机科学,2025,52(S1):224-229.
- [2] 王璞,刘宏杰,周永录.基于改进人工鱼群算法求解旅行商问题及多点路径规划[J].科学技术与工程,2024,24(35):15090-15097.
- [3] 周桃静,许家昌.细胞型膜进化算法求解旅行商问题[J].宁夏师范学院学报,2024,45(07):72-83.
- [4] 张钰.阿基米德优化算法及其在旅行商问题中的应用[D].西安理工大学,2024.
- [5] 李香意,谭代伦.基于策略池-扩张机制的改进遗传算法求解旅行商问题[J].六盘水师范学院学报,2024, 36(03):55-64.
- [6] 边锦华,张晓霞.求解 TSP 问题的一种变领域遗传算法[J].福建电脑,2023,39(12):24-27.
- [7] 赵涛,叶志伟,宗欣露,等.求解旅行商问题的改进 k-opt 遗传算法[J].湖北工业大学学报,2023,38(05):75-81.
- [8] 王昀昊.容量着色旅行商问题及其求解算法研究[D].东南大学,2023.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS