

凌英杰. 基于贝叶斯算法更新信息素的蚁群路径规划算法[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(11): 206-210. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.24051002

基于贝叶斯算法更新信息素的蚁群路径规划算法

凌英杰

(肇庆市综治事务中心, 广东 肇庆 526000)

摘要: 在路径规划问题中, 寻找从起点到终点的最优路径具有广泛的应用, 如机器人导航和物流管理。蚁群算法(ACO)由于其群体智能特性在路径优化问题中表现出色。然而, 传统蚁群算法在动态环境中由于信息素更新机制较为固定, 往往难以快速适应环境变化, 导致路径选择效率和精度下降。为了解决这一问题, 通过引入贝叶斯算法根据历史信息 and 实时反馈动态调整信息素的更新策略, 从而更准确地应对环境的不确定性和变化。在静态和动态网络环境中, 通过对比改进后的算法与传统蚁群算法以及其他常用路径规划算法(Dijkstra算法、A*算法及其改进的蚁群算法)的性能显示, 本算法在路径优化效率和对动态环境的适应能力上均显著优于对比算法, 为动态路径规划问题提供了不同适应场景的有效解决参考和借鉴。

关键词: 贝叶斯方法; 蚁群算法; 路径规划; 动态优化

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)11-0206-05

Ant colony path planning algorithm updated using Bayesian algorithm

LING Yingjie

(Zhaoqing Comprehensive Governance Affairs Center, Zhaoqing 526000, Guangdong, China)

Abstract: In path planning problems, finding the optimal path from the starting point to the destination has a wide range of applications, such as in robot navigation and logistics management. The Ant Colony Optimization (ACO) algorithm performs excellently in path optimization problems due to its swarm intelligence characteristics. However, traditional ACO algorithms often are difficult to quickly adapt to environmental changes in dynamic environments because of the fixed nature of their pheromone update mechanism, leading to decreased efficiency and accuracy in path selection. To address this issue, a Bayesian algorithm is introduced to dynamically adjust the pheromone updating strategy based on historical information and real-time feedback, thereby more accurately addressing environmental uncertainties and changes. In both static and dynamic network environments, comparisons of the improved algorithm with traditional ACO algorithms and other commonly used path planning algorithms (such as Dijkstra's algorithm, A* algorithm, and improved ACO algorithms) show that the improved algorithm significantly outperforms the others in terms of path optimization efficiency and adaptability to dynamic environments. This provides effective solutions and references for different adaptive scenarios in dynamic path planning problems.

Key words: Bayesian methods; ant colony optimization; path planning; dynamic optimization

0 引言

在现代物流、城市交通管理、无人驾驶系统以及自动化仓库等多种应用领域中, 路径规划技术起着核心作用。有效的路径规划不仅可以显著提高运输效率, 降低成本, 还能增强系统的整体性能和响应速度。蚁群算法, 作为一种受自然界蚂蚁行为启发而推出的启发式优化算法, 因其高效的群体协作机制和优良的分布式计算特性, 已被广泛应用于该类优化问题的求解中。

蚁群算法^[1]的基本原理源于蚂蚁在寻找食物路径过程中的行为模式。蚂蚁通过释放称为信息素的化学物质来标记其行走的路径, 其他蚂蚁通过感知这些信息素来选择自己的行进路线, 从而在多次迭代中找到最短路径。

然而, 尽管传统蚁群算法在静态环境中表现良好, 当面对动态或不断变化的环境时, 其性能往往将面临一定的挑战^[2]。在这些环境中, 路径的有效性可能会因新的障碍、复杂的交通条件或其他动态因素而快速变化, 而算法中信息素的更新机制未能及

时反映这些变化,导致算法响应滞后,难以有效适应环境的动态变化。

为了解决这一问题,常见的方法是引入改进算法^[3-4]。如,一种常见的改进是引入启发式信息,如路径长度或者启发式函数,来引导蚂蚁的探索过程^[5]。另一种方法是调整信息素更新策略,如采用最大最小蚁群系统(Max-Min Ant System)^[6]或蚁群系统(Ant Colony System)^[7],以增强算法的探索和求解能力。此外,还有一些针对特定问题设计的改进算法,如考虑动态环境的蚁群算法、多目标优化蚁群算法等^[8]。然而,这些改进算法各有优缺点,适用于不同的问题场景。如启发式信息和信息素更新策略实现起来比较简单快速,但在较为复杂的环境下不够灵活。动态环境的蚁群算法和多目标优化蚁群算法虽然在一定程度上扩展了蚁群算法的应用范围,但也在算法复杂度增加、局部最优解问题加剧、解决方案多样性不足、调节参数困难和算法鲁棒性差等多个方面存在缺陷。

因此,选择蚁群算法合适的改进算法成为学界关注的研究热点。本文在参考前述改进算法的基础上,基于贝叶斯算法^[9]在实践中(特别是推荐方面)的优异表现,在综合考虑路径规划问题的特点、算法的性能以及计算资源的限制等因素后,引入贝叶斯算法对蚁群算法进行改进,旨在探寻一种有效的解决策略。贝叶斯算法作为一种基于概率的算法框架,允许算法在已有知识的基础上整合新的证据,动态调整对信息素重要性的评估。具体而言,贝叶斯算法可以根据环境变化的情况,有概率依据地实时更新信息素的分布,从而使得蚁群算法更加灵活地适应环境的变化,提高算法的适应性和鲁棒性。

1 理论背景

在路径规划算法的研究中,传统算法如 Dijkstra 算法^[10]和 A* 算法^[11]因其明确的理论基础和成熟的实现技术,一直以来都是解决路径规划问题的主流方法。然而,这些算法在应对动态变化的环境和处理大规模问题时,面临着计算复杂度高和适应性不足的挑战^[12]。为了克服这些局限,研究者们引入了多种基于概率和启发式的算法^[3-8,13-14]。其中,而贝叶斯方法和蚁群算法结合的算法则会为路径规划提供更多启发。

1.1 贝叶斯理论

贝叶斯算法是统计学的一种分类方法,就是一类利用概率统计知识进行分类的算法。在许多场合,朴

素贝叶斯(Naïve Bayes, NB)分类算法并不逊色于决策树和神经网络分类算法,该算法能运用到大型数据库中,而且方法简单、分类准确率高、速度快。在预测方面,该算法提供了一种在先验知识和观测数据的基础上进行学习和预测的框架。路径规划中,贝叶斯方法可以用来估计不确定性条件下的最优路径。例如,通过更新环境状态的概率分布,算法可以动态地调整其路径决策,以应对环境中的不确定性和变化。

能运用于路径规划问题的原理为:环境状态可以通过概率模型表示,其中每个状态由位置和可能的障碍或路况变化来定义。定义状态空间为 X , 观测数据为 O , 状态的先验概率 $P(X)$ 表示在没有任何额外信息的情况下,系统对环境状态的初始理解。

当新的观测数据 O_t 可用时,贝叶斯更新公式用来更新状态的概率分布为:

$$P(X_t | O_{1:t}) = \frac{P(o_t | X_t)P(X_t | O_{1,t-1})}{P(o_t | O_{1,t-1})} \quad (1)$$

其中, $P(o_t | X_t)$ 是给定状态下的观测似然, $P(X_t | O_{1,t-1})$ 是先前时刻的后验概率。贝叶斯算法在处理包含不确定性的信息时具有显著的优势,尤其是能够通过先验知识与观测数据的结合,以统计的方式更新信息。

1.2 蚁群算法

蚁群算法源自对蚂蚁觅食行为的观察,可利用群体智能来解决优化问题。蚁群算法通过模拟蚂蚁释放信息素来标记其行走的路径,并依据信息素的浓度来决定路径的选择,从而在多次迭代后找到最优解。该算法在动态环境下的适应性和并行计算能力使其成为解决复杂路径规划问题的一个有力工具。

其原理为:每只蚂蚁根据信息素强度和启发式信息来选择路径。信息素的更新规则反映了蚁群的集体记忆,是算法的关键。蚁群在每次迭代中更新信息素的规则定义为:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t) \quad (2)$$

其中, $\tau_{ij}(t)$ 表示在时间 t 从节点 i 到节点 j 的信息素强度; ρ 表示信息素的挥发率; $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ 表示第 k 只蚂蚁在 i 和 j 之间留下的信息素量,依赖于路径的质量。

在路径规划领域,结合贝叶斯方法和蚁群算法的研究相对较少,特别是缺少对现有主流路径规划算法的比较,但已有一些研究表明这种结合具备显著优势^[15-18]。例如,一些研究尝试通过蚁群算法在贝叶斯框架下进行路径搜索,利用贝叶斯更新规则

来调整信息素的释放和更新策略^[19-20]。这种方法旨在克服单一算法的不足,通过优势互补来提高路径规划的准确性和效率。

显而易见,将贝叶斯算法和蚁群算法相结合就为路径规划提供了新的视角和可能,但也带来了新的难点和挑战。其中,算法的实用性、鲁棒性以及复杂和不确定的实际环境中的应用,已得到广泛研究。此外,深入探讨这2种方法的结合机制,以及在不同类型的路径规划问题中的性能表现,也取得了一定成果。但迄今为止仍较少涉及到有关将贝叶斯算法和蚁群算法相结合的算法研发、主流的路径优化、规划算法的比较验证等方面,而这也是本次研究的重点内容。

2 算法设计

结合贝叶斯算法与蚁群算法的新型路径规划算法(Bayesian Ant Colony Optimization, BACO),是通过动态调整信息素的强度,使用贝叶斯算法对信息素进行实时更新,以适应动态变化的环境。

2.1 基本原理

BACO算法在蚁群算法的基础上进行改进,利用贝叶斯算法动态更新信息素,以优化蚁群的搜索效率和适应性。蚁群算法的主要步骤包括初始化、路径构建、信息素更新和终止条件。BACO算法增加了贝叶斯更新机制来调整信息素强度,使算法能更好地反映环境的变化。

2.2 蚁群算法的标准流程

蚁群算法的基本流程如下:

(1)初始化:设定蚂蚁数量、信息素初值、蒸发率等参数。

(2)构建解:每只蚂蚁根据信息素强度和启发式信息(如路径长度)选择路径。

(3)局部更新规则:蚂蚁经过路径后,对路径上的信息素进行即时更新。

(4)全局更新规则:所有蚂蚁完成一次迭代后,根据找到的最优路径更新信息素。

2.3 贝叶斯算法的引入

在BACO算法中,引入贝叶斯更新规则是对传统蚁群算法的重要改进。贝叶斯更新规则允许算法根据实时反馈和历史数据动态调整信息素强度。以下是贝叶斯更新的具体公式:

$$P(\tau_{ij}^{(t+1)} | D^{(t)}) = \frac{P(D^{(t)} | \tau_{ij}^{(t)}) \times P(\tau_{ij}^{(t)})}{P(D^{(t)})} \quad (3)$$

其中, $\tau_{ij}^{(t)}$ 表示在时间 t 从节点 i 到 j 的信息素强度; $D^{(t)}$ 表示在时间 t 收集的数据,如路径的拥堵、成本

情况; $P(D^{(t)} | \tau_{ij}^{(t)})$ 表示在给定信息素强度 $\tau_{ij}^{(t)}$ 的条件下,观测到数据 $D^{(t)}$ 的概率; $P(\tau_{ij}^{(t)})$ 表示信息素强度的先验分布; $P(D^{(t)})$ 表示数据 $D^{(t)}$ 的概率。

2.4 算法伪代码

BACO算法的伪代码详见如下。

输入 图 $G(V, E)$, 蚂蚁数量 n , 最大迭代次数 T

输出 最短路径 $best_path$

初始化:

为每条边 $(i, j) \in E$ 设置初始信息素 τ_{ij}

设置信息素蒸发率 ρ 和贝叶斯更新参数 λ

for $t = 1$ to T do:

for each 蚂蚁 k do:

设定起点

while 未到达终点 do:

基于信息素选择下一节点 j , 概率计

算公式为:

$$P(j | i) = [\tau_{ij}^\alpha \times \eta_{ij}^\beta] / \sum (\tau_{il}^\alpha \times \eta_{il}^\beta)$$

移动到节点 j

局部信息素更新: $\tau_{ij} = (1 - \rho) \times$

$\tau_{ij} + \Delta\tau$

end while

更新路径长度和最优路径

end for

收集环境数据 $D^{(t)}$

for each 边 $(i, j) \in E$ do:

使用贝叶斯公式更新信息素:

$$\tau_{ij}^{new} = \lambda \times (\tau_{ij}^{old} \times P(D | \tau_{ij}^{old}) / P(D)) + (1 - \lambda) \times \tau_{ij}^{old}$$

全局信息素更新: $\tau_{ij} = (1 - \rho) \times \tau_{ij} +$

$\Delta\tau_{best}$

end for

end for

返回 $best_path$

3 实验设计与结果分析

为了全面评估基于贝叶斯和蚁群算法的路径规划算法(BACO)的性能,研发设计了性能比较的实验,将BACO与传统Dijkstra、A*算法、改进前的蚁群算法(ACO)、基于启发式信息的改进算法(Improved Ant Colony Algorithm with Heuristic Information, HACO)和采用最大最小蚁群系统的改进算法(Improved Ant Colony Algorithm with Max-Min Ant System, MMACO)进行了综合比较,这是本文不同于其他研究之处。实验在不同类型的网络环境中进行,用以考察各算法在静态和动

态条件下的性能表现。

3.1 实验环境

实验在 3 种图类型上进行:

(1) 规则图。1 000 个节点, 每个节点连接到其他 4 个节点, 形成一个规则的网格。

(2) 随机图。1 000 个节点, 每个节点随机连接到 3~5 个其他节点, 边的权重随机生成。

(3) 实际道路网络图。使用开源的柏林城市道路网络, 包含约 1 000 个节点和 2 500 条边。

实验场景包括静态条件和模拟的动态条件, 如随机生成的交通拥堵和道路封锁。

3.2 参数设置

蚂蚁数量: 50; 信息素初值: 1.0; 蒸发率(ρ): 0.3; 贝叶斯更新参数(λ): 0.4; 信息素影响力(α): 1; 启发式影响力(β): 2; 最大迭代次数: 100。

3.3 实验方法

评估指标包括:

(1) 路径长度。计算找到的最短路径的总长度。

(2) 计算时间。从算法开始到找到最短路径所需

的总时长。

(3) 算法稳定性。多次实验中算法性能的变异程度。

(4) 适应性。在动态环境中算法的响应速度和效果。

3.4 实验结果

(1) 静态场景结果。静态场景性能比较结果如图 1 所示。在静态环境中, 对 BACO 算法、传统的 ACO 算法、Dijkstra 算法、A* 算法、基于启发式信息的改进算法 (HACO) 和最大最小蚁群系统的改进算法 (MMACO) 的性能进行了比较。实验结果表明, 在无变动条件下的路网环境中, 这些算法均能找到最短路径, 但在性能方面存在显著差异。在路径长度上, BACO 算法与其他算法相比表现最优。在算法时间方面, BACO 算法与 MMACO 算法相近, 尽管 BACO 算法的计算时间略高于 A* 算法, 但明显优于传统的 ACO 算法和改进的启发式 HACO 算法, 展示出其在路径搜索效率上的优势。同时, 在多次实验中, BACO 算法显示出较高的稳定性, 其路径长度和计算时间的波动较小。

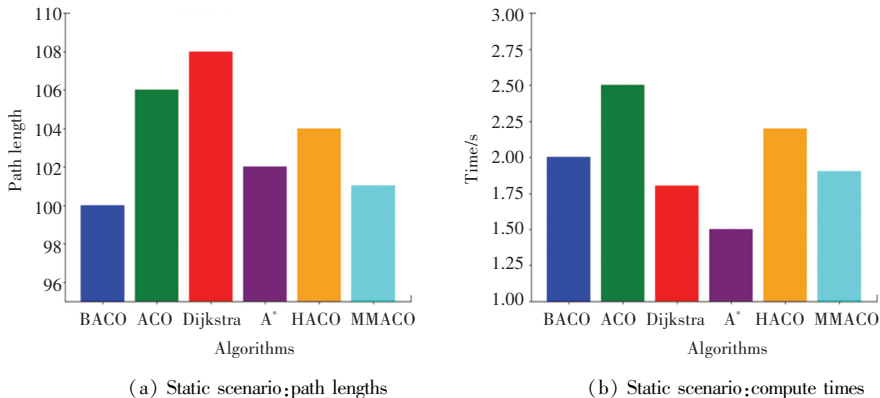


图 1 静态场景性能比较图

Fig. 1 Performance comparison of static scene

(2) 动态场景结果。动态场景性能比较结果如图 2 所示。在动态环境中, 模拟了交通拥堵和道路封锁的情况, 以测试算法对环境变化的适应性。BACO 算法表现出了显著的优越性, 特别是在快速适应路网变动方面。BACO 算法能迅速适应环境变化, 相较于其他算法, 其调整最优路径的速度更快。在动态条件下, BACO 算法不仅能更快找到新的最优路径, 而且路径长度通常比传统 ACO、启发式 HACO 算法、MMACO 算法和其他算法会更短。BACO 算法的响应时间短, 这是由于贝叶斯更新机制的引入, 能够快速反映环境的即时变化。

3.5 结果分析

通过实验结果可以看出, BACO 算法在动态环

境中的综合性能最优。其路径长度、计算时间均表现出色, 尤其是路径长度的稳定性较高, 同时在实验中, BACO 算法的调整时间也较短, 能够快速调整路径, 表现出对动态环境较强的适应性。这主要得益于贝叶斯算法的引入, 使得 BACO 能够根据环境变化动态调整信息素的强度和更新频率, 从而优化路径选择。相比之下, 传统 ACO 和传统算法 (Dijkstra、A* 算法) 在动态环境中的适应性较差, 并存在计算时间长、调整时间慢和路径长度不稳定等问题。HACO 和 MMACO 算法虽然有一定的改进, 但 BACO 算法有着较好的综合表现性能, 并具有一定的优越性。

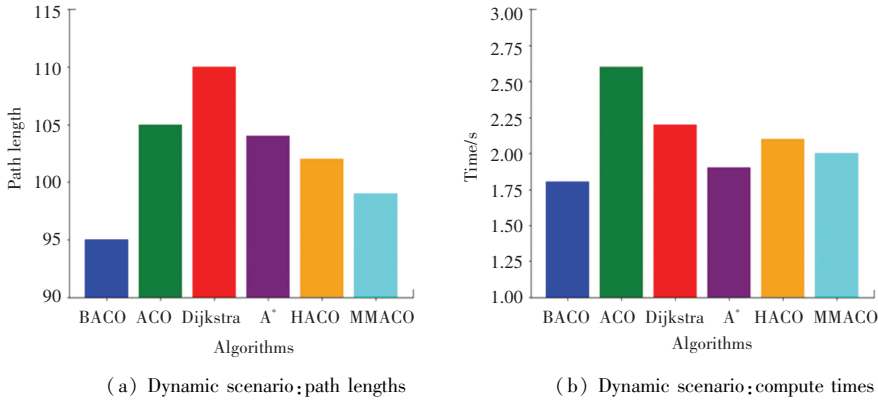


图2 动态场景性能比较图

Fig. 2 Performance comparison of dynamic scene

4 结束语

通过实验比较了路径规划主流算法与结合贝叶斯算法的蚁群算法,验证了算法的可行性和各种算法的适用场景,能有效提升路径规划的灵活性和适应性。未来可以继续全面优化 BACO 算法的参数设置,并探索更复杂的贝叶斯模型和其他启发式信息的结合,以进一步提升算法在更广泛应用场景中的性能。此外,对参数的进一步调优也是提升算法性能和适用性的关键,亦是后期工作的拟定主要研究方向。

参考文献

- [1] DORIGO M, CARO G D. Ant colony optimization: A new meta-heuristic[C]//Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406). Piscataway, NJ: IEEE, 1999, 2: 1470-1477.
- [2] 周振,耿晨晨,崔若庚,等. 基于改进融合蚁群算法的 AGV 路径规划[J]. 计算机仿真,2024,41(4):441-445.
- [3] 陈迎欣. 基于改进蚁群算法的车辆路径优化问题研究[J]. 计算机应用研究,2012,29(6):2031-2034.
- [4] 陈志新,闫昊炜,张昕宇,等. 基于改进蚁群算法的 B2B 城配模式下车辆路径优化[J]. 公路交通科技,2023,40(7):231-238.
- [5] 朱艳,游晓明,刘升. 基于启发式机制的改进蚁群算法[J]. 信息与控制,2019,48(3):265-271.
- [6] 刘霞,杨超. 最小-最大车辆路径问题的蚁群算法[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版),2012,13(3):336-341.
- [7] 姚玉坤,张关鑫,刘旭冉,等. 基于最大最小蚁群系统的车载自组网路由策略[J]. 小型微型计算机系统,2024,45(7):

1749-1755.

- [8] 郑延斌,王林林,席鹏雪,等. 动态环境下改进蚁群算法的多 Agent 路径规划[J]. 计算机工程与科学,2019,41(6):1078-1085.
- [9] 索岩,程向羽. 基于贝叶斯后验概率和非合作博弈的推荐算法[J]. 计算机应用与软件,2022,39(3):270-276.
- [10] DIJKSTRA E W. A note on two problems in connexion with graphs[J]. Numerische Mathematik, 1959, 1: 269-271.
- [11] 李航. 统计学习方法[M]. 北京:清华大学出版社,2012.
- [12] HART P E, NILSSON N J, RAPHAEL B. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths[J]. IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, 1968, 4(2): 100-107.
- [13] 王则林,吴志健,尹兰,等. 基于概率分布自适应的化学反应的元启发式优化算法运用于包匹配[J]. 计算机科学,2014,41(5):164-167.
- [14] 左国玉,陈国栋,刘月雷,等. 基于均匀概率的目标启发式 RRT 机械臂路径规划方法[J]. 北京工业大学学报,2022,48(8): 812-821.
- [15] 葛艳,税薇,韩玉等. 基于贝叶斯网络和蚁群算法的航路优化[J]. 计算机工程,2009, 35(12): 175-177.
- [16] 冀俊忠,张鸿勋,胡仁兵,等. 基于蚁群算法的贝叶斯网络结构学习[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(6): 933-939.
- [17] 刘浩然,孙美婷,李雷,等. 基于蚁群节点寻优的贝叶斯网络结构算法研究[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(1): 143-150.
- [18] 于莲芝,秦天. 改进蚁群算法在物流机器人路径规划上的研究[J]. 智能计算机与应用,2022,12(10):62-67.
- [19] 王昭伟,黄卫华,余文凯,等. 基于贝叶斯决策的蚁群算法路径规划研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(6): 41-46.
- [20] 王秀芬,杨盛毅,田茂祥,等. 基于贝叶斯决策风险的元胞蚁群算法路径规划[J]. 淮阴师范学院学报(自然科学版),2020,19(4):298-305.