 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i5.5687

Research on the Adaptability of Reinforcement Learning Algorithms in Dynamic Path Planning of Intelligent Connected Vehicles

Zhen Yang

Wuhu Polytechnic, Wuhu, Anhui, 241006, China

Abstract

With the rapid development of intelligent connected vehicle technology, intelligent connected vehicles are playing an increasingly important role in road traffic. Dynamic path planning for intelligent connected vehicles is one of the core technologies to ensure their safe and efficient operation. Although traditional path planning algorithms perform well in some static and simple environments, they have certain limitations in complex dynamic environments when facing real-time traffic changes and unforeseen obstacles. In recent years, reinforcement learning, as an emerging machine learning technology, has been widely applied in the field of path planning due to its superiority in dynamic decision-making and adaptation to complex environments.This paper studies the adaptability of reinforcement learning algorithms in the dynamic path planning of intelligent connected vehicles, analyzes their performance in complex traffic environments, discusses the advantages and challenges of reinforcement learning in practical applications, and proposes optimization strategies. The research results show that reinforcement learning can significantly enhance the path planning ability of intelligent connected vehicles in dynamic environments, especially demonstrating strong adaptability when dealing with uncertain factors such as real-time traffic flow and sudden obstacles.

Keywords

Intelligent Connected Vehicle Dynamic path planning Reinforcement learning Adaptability Real-time traffic

智能网联汽车动态路径规划中强化学习算法的适应性研究

杨真

芜湖职业技术学院，中国 · 安徽 芜湖 241006

摘　要

随着智能网联技术的快速发展，智能网联汽车在道路交通中发挥着日益重要的作用。智能网联汽车的动态路径规划是确保其安全、高效运行的核心技术之一。传统的路径规划算法虽然在一些静态和简单环境中表现良好，但在复杂的动态环境中，面对实时交通变化和不可预见的障碍物时，存在一定的局限性。近年来，强化学习作为一种新兴的机器学习技术，因其在动态决策和适应复杂环境中的优越性，已被广泛应用于路径规划领域。本文通过研究强化学习算法在智能网联汽车动态路径规划中的适应性，分析了其在复杂交通环境中的表现，探讨了强化学习在实际应用中的优势与挑战，并提出了优化策略。研究结果表明，强化学习能够显著提升智能网联汽车在动态环境中的路径规划能力，特别是在应对实时交通流量、突发障碍物等不确定因素时具有较强的适应性。

关键词

智能网联汽车；动态路径规划；强化学习；适应性；实时交通

1 引言

智能网联汽车（Intelligent Connected Vehicle, ICV）是现代交通系统的一个重要发展方向，其核心在于通过互联网、物联网、云计算和大数据等技术，将汽车与道路、其他车辆、交通设施等连接起来，实现自动驾驶、智能交通、车路协同等功能。随着自动驾驶技术的不断进步，路径规划技术成为智能网联汽车的关键技术之一。路径规划是指根据汽车当前的位置、目标位置以及动态变化的环境信息，计算出一条最优的行驶路线。

传统的路径规划算法主要包括基于图的算法、启发式算法和经典的优化算法等，这些算法大多依赖于静态的交通信息，假设道路环境相对稳定。然而，在实际的道路交通环境中，交通流量、道路状况、障碍物等因素时刻发生

【基金项目】2023年度安徽省高校自然科学研究重点项目《基于物联网和大数据的汽车充电桩控制系统设计》（项目编号：2023AH052385）。

【作者简介】杨真（1986–），男，中国安徽芜湖人，本科，助理实验师，从事智能网联汽车/电子信息研究。

变化，因此，传统算法往往无法有效应对复杂和动态的交通环境。为了应对这一挑战，研究者们开始关注强化学习（Reinforcement Learning, RL）等智能算法在路径规划中的应用。强化学习能够通过与环境的交互，逐步优化决策策略，尤其适用于动态变化的复杂环境，因此被认为是智能网联汽车路径规划的一个重要技术方向。

在传统路径规划算法中，常见的 Dijkstra 算法、A* 算法等方法虽能有效求解静态路径问题，但在处理动态障碍物、实时交通流量和车辆行为预测等方面存在局限性。随着自动驾驶技术的不断发展，智能网联汽车面临着更多的复杂情况，如交通堵塞、突发事故、复杂天气等因素，传统算法的适应性和实时性已无法满足实际需求。因此，研究能够适应动态环境、实时决策的路径规划方法显得尤为重要。

近年来，强化学习在路径规划中的应用取得了一定的成果。强化学习通过不断与环境交互，学习如何根据当前状态采取最优行动，从而优化路径规划。然而，强化学习算法的高效性和稳定性仍然面临挑战，特别是在大规模和复杂环境中的训练效率和收敛性等方面。因此，如何提升强化学习算法在智能网联汽车动态路径规划中的适应性，是当前研究中的关键问题。

本文旨在通过深入分析强化学习在智能网联汽车动态路径规划中的适应性，探讨其在复杂动态交通环境下的表现与潜力，分析其优势与挑战，并提出相应的优化策略。研究结果不仅有助于推动智能网联汽车路径规划技术的发展，还能为实现更高效、安全的自动驾驶提供理论支持。

2 强化学习在路径规划中的应用

2.1 强化学习基本原理

强化学习是一种基于试错的学习方法，通过智能体与环境的交互来学习最优策略。在强化学习中，智能体通过在环境中执行动作，获得环境的反馈信号（即奖励或惩罚），并根据这些反馈调整自身的决策策略。强化学习的核心要素包括状态（State）、动作（Action）、奖励（Reward）和策略（Policy）。通过不断地与环境互动，智能体可以积累经验并逐步优化策略，以实现长期的最大化奖励。

在路径规划问题中，强化学习算法通过不断与交通环境交互，学习如何根据实时路况、交通流量和障碍物信息来调整行驶路线，最终实现最优路径规划。

2.2 强化学习在动态路径规划中的优势

强化学习在动态路径规划中的应用具有许多独特的优势。首先，强化学习具有较强的适应性，能够应对不断变化的环境。与传统的静态路径规划算法不同，强化学习能够通过实时的反馈信息不断调整决策策略，使得智能网联汽车能够在复杂多变的交通环境中进行有效的路径选择。其次，强化学习算法可以处理不确定性较高的问题。在现实世界中，交通流量、道路条件等因素难以预见，强化学习能够通过历史数据的学习逐步优化决策，适应未知的环境变化。此外，强化学习具有较强的自主学习能力，智能体可以通过与环境的不断交互来逐步提高路径规划的效率和质量。

2.3 强化学习在智能网联汽车路径规划中的挑战

尽管强化学习在路径规划中具有较大的潜力，但在实际应用中仍面临一些挑战。首先，强化学习的训练过程通常需要大量的时间和计算资源。在复杂的交通环境中，智能网联汽车需要不断地进行决策和调整，训练过程中的样本收集和策略更新非常耗时。其次，强化学习的收敛性和稳定性问题也需要解决。在动态环境中，路径规划的决策往往受到多个因素的影响，如何确保强化学习算法在复杂环境中能够稳定收敛，并且避免陷入局部最优解，是当前研究中的难点之一。此外，强化学习的环境建模和状态空间的定义也是一大挑战，如何准确地模拟交通环境并设计合理的状态空间，以便算法能够有效地学习，是强化学习应用中的关键问题。

3 强化学习算法的优化策略

3.1 状态空间与动作空间的设计优化

在强化学习应用中，状态空间和动作空间的设计是至关重要的，尤其是在智能网联汽车路径规划的问题中，合理的设计能够显著提升算法的效率和准确性。对于智能网联汽车的路径规划问题，状态空间不仅需要包含车辆的当前位置信息，还应涵盖与路径规划相关的各种动态信息，包括道路的交通流量、车速、交通信号灯状态、前方障碍物、路况等。合理设计状态空间，使得算法能够全面感知环境，是路径规划的关键。随着环境的动态变化，状态空间应该具备一定的动态适应性，能够根据实时交通数据更新和调整。例如，在考虑交通信号灯状态时，状态空间不仅要反映信号灯的实时变化，还应考虑到信号灯变化的时序信息。

此外，状态空间的维度和复杂度会直接影响强化学习算法的训练效果和计算效率。因此，在设计状态空间时，不仅需要确保其涵盖所有相关信息，还要在信息量和计算量之间做出合理的平衡。为了减少状态空间的维度，可以通过特征选择、降维技术等方法对其进行优化，使得算法在保证精度的同时，避免计算过度复杂，从而提高其训练和执行的效率。

动作空间的设计则包括汽车可以采取的各种操作，如加速、减速、转向、变道等。在动态环境中，智能网联汽车的决策必须能够迅速响应道路情况的变化。为了提高路径规划的效率，动作空间需要根据实际需要进行合理的离散化或连续化设计，以减少计算复杂度。例如，在较为简单的情况下，采取离散化的动作空间（如加速、减速、转向），可以使得智能体的决策更加快速且易于计算。而在复杂的路径规划问题中，使用连续的动作空间则能更精细地调节控制策略，提升路径规划的精度。

随着深度强化学习（Deep Reinforcement Learning, DRL）

的发展，深度神经网络在处理大规模连续动作空间时表现出了强大的能力。通过深度神经网络对动作空间的细化和优化，智能网联汽车能够选择更加合适的路径，充分利用计算资源，同时提高决策的准确性。

3.2 奖励函数的设计与调整

奖励函数是强化学习中至关重要的部分，它决定了智能体的学习目标和方向。在智能网联汽车路径规划中，奖励函数的设计应综合考虑多种因素，如行驶时间、能耗、交通规则遵守程度、道路安全性、突发交通状况的应对能力等。奖励函数不仅要保证路径规划的高效性和安全性，还需要平衡这些因素之间的关系。例如，虽然短时间内的路径可能更加直接，但若该路径涉及较为复杂的路况或障碍物，可能会降低安全性。在这种情况下，奖励函数可以通过惩罚较高风险路径，激励智能体选择更加安全的路线。

为了更好地适应动态环境，奖励函数的设计需要具备一定的灵活性。强化学习算法依赖于环境反馈来调整策略，因此，奖励函数的设定应能够引导智能体在复杂和变化的交通环境中做出正确的决策。例如，在面对突发的交通状况或障碍物时，奖励函数可以通过对智能体采取规避动作的奖励进行提高，鼓励其选择更安全、流畅的路线。相反，如果智能体选择了规避不及时或路线不理想，系统可以通过惩罚机制来引导其进行调整。

3.3 多智能体强化学习与协同决策

在复杂的交通环境中，智能网联汽车往往不仅要考虑自身的路径规划，还需要与其他车辆和交通设施进行协同决策。特别是在城市交通中，车辆之间的协作和信息共享至关重要，传统的单一智能体路径规划方法难以解决车辆之间的协调和冲突问题。因此，多智能体强化学习（Multi-Agent Reinforcement Learning, MARL）成为解决这一问题的有效方法。

在多智能体强化学习中，多个智能体（即多辆智能网联汽车）通过共享信息和策略优化，能够共同协调并选择最佳路径。每个智能体根据自己所处的状态选择合适的动作，并根据环境的反馈调整自己的策略。与单一智能体路径规划不同，多智能体系统强调智能体之间的协作与竞争，能够通过集体决策提高全局效率。在智能网联汽车路径规划中，多个智能体可以共享道路状况、交通流量、障碍物等信息，从而避免拥堵和冲突，优化整体交通效率。

例如，在城市交通中，智能网联汽车可以通过与周围车辆的交互，共同选择不拥堵的路径，避免因各自独立选择路径而导致的交通拥堵。此时，每个智能体不仅要根据自身的状态和奖励进行决策，还要考虑到其他智能体的决策，以实现全局最优。在处理突发事件时，多智能体系统能够通过协同学习，动态调整各自的行驶路径，避免交通事故和堵塞，从而提高交通流畅度和安全性。

4 结语

强化学习在智能网联汽车动态路径规划中的应用，展现了其在复杂动态交通环境中的巨大潜力。通过合理设计状态空间、动作空间和奖励函数，强化学习能够有效提升路径规划的效率和安全性。尤其是在动态环境下，强化学习不仅能够适应交通流量的变化，还能够应对突发障碍物等不确定因素，实现更为精准和实时的路径选择。

尽管强化学习算法在训练效率、收敛性、环境建模等方面仍面临一些挑战，但随着计算能力的不断提高和算法的进一步优化，强化学习在智能网联汽车路径规划中的应用前景广阔。未来，强化学习的应用将不仅限于路径规划，还可以扩展到智能驾驶、车路协同等多个领域。通过与其他智能交通系统技术的融合，强化学习将有助于推动智能网联汽车产业的发展，为实现智能交通、绿色出行、交通安全等目标提供有力支撑。

参考文献

[1] 蔡长青.基于多智能体的交通控制与交通诱导协同理论和方法研究[D].吉林大学,2008.

[2] 《中国公路学报》编辑部.中国交通工程学术研究综述·2016[J].中国公路学报,2016,29(06):1-161.

[3] 《中国公路学报》编辑部.中国汽车工程学术研究综述·2017[J].中国公路学报,2017,30(06):1-197.

[4] 邱利宏.智能网联混合动力汽车队列分层优化控制方法研究[D].合肥工业大学,2018.

[5] 张双琳.纯电动自动驾驶汽车任务规划算法的设计与实现[D].哈尔滨工业大学,2018.