# 基于博弈论的困难场景驾驶仿真模拟

## 对象和问题描述

近年来，随着科技水平与自动化水平的不断提高，自动驾驶也逐渐成为智能交通系统的研究热点之一，人们对自动驾驶车辆的研究也越来越深入，自动驾驶主要包括三个部分，分别是感知，决策，规划控制，在自动驾驶汽车领域，困难场景如恶劣天气、复杂交通环境、紧急情况等对车辆的感知、决策和控制提出了更高的要求。本研究旨在通过博弈论方法，模拟和分析自动驾驶汽车在这些困难场景下的行为，寻找合适的博弈论方法，以提高车辆驾驶过程中的安全性和效率。

问题：

* 如何在困难场景下实现自动驾驶汽车的有效决策？
* 如何通过博弈论模型优化自动驾驶汽车的交互行为？

## 选题意义

博弈论有三个主要元素：对局者、策略以及收益，我们将博弈论引入自动驾驶决策规划问题，将驾驶决策问题转化一个博弈问题。博弈论可以描绘车辆间的相互作用的决策行为选择，被认为是很有前途的模拟人类决策和建模驾驶决策的方法之一[1]。

其实际意义在于能提高自动驾驶汽车的安全性，在困难场景下，如雨雪天气、大雾、夜间等，自动驾驶汽车的感知系统可能会受到限制，导致决策失误。通过博弈论方法，我们可以模拟和优化车辆在这些情况下的决策过程，从而提高其安全性；**增强自动驾驶汽车的适应性，**困难场景往往伴随着高度的不确定性和复杂性。博弈论可以帮助自动驾驶汽车在这些场景下做出更加灵活和适应性强的决策，提高其在各种环境下的行驶能力；**促进自动驾驶技术的发展和普及，**通过在困难场景下提高自动驾驶汽车的性能，可以增强公众对自动驾驶技术的信任，推动其在更广泛的应用场景中的接受和使用。

其理论意义在于可以丰富博弈论在自动驾驶领域的应用，博弈论在经济学、社会学等领域已有广泛应用，但在自动驾驶领域的应用还相对较少；**推动自动驾驶决策理论的发展，**自动驾驶汽车的决策过程涉及多车辆、多目标的复杂交互。博弈论提供了一种有效的框架来分析和优化这些交互，有助于推动自动驾驶决策理论的发展。

## 研究现状

在人机共享驾驶博弈控制的研究中，Na X等[2] [3]提出了基于博弈论的算法，比较了分散控制、不合作纳什算法、不合作Stackelberg算法与合作Pareto算法。这些算法通过预测驾驶员反应来优化自动驾驶汽车的避障控制和轨迹跟踪。Flad M等[4] [5]进一步提出了“合作共享控制”概念，将驾驶员和自动控制系统的交互视为纳什平衡问题，以寻求满足设计者需求的最优解。Wand JX等[6]在网联车辆协同路径规划中，将路径规划问题转化为博弈问题求解。Zhang KR等[7]分析了人−车系统的动力学特性，并将路径跟踪问题转化为博弈问题求解。

而在换道控制研究中，利用博弈模型对车辆变道决策进行机理性分析，可对特定运行状态下，车辆变道成功与否的概率进巧预测。薛春铭等[8] [9] 针对车辆换道行为，提出了包含车辆协同机制的换道策略。他们将换道视为非合作博弈行为，并根据换道行为特点建立了支付函数，该函数依赖于安全前提下可能获得的加速空间以及后车对前车的影响。此外，策略使用收益再调整方案，通过量化分析车辆的行驶风格，赋予可能影响换道的车辆不同权重参与收益计算。在SUMO仿真软件上的测试结果显示，使用博弈换道模型的车辆在不同车流密度环境下平均通行数量提高5.6%，平均通行时间减少8.4%，未发生事故，表明模型具有感知、判断人类驾驶风格的能力，可在保证安全的前提下提高通行效率。Kita[10]等提出基于博弈的并道-让路交互模型，认为待换道车辆与目标车道车辆之间是相互影响的关系。他们使用两人非合作博弈建模，以避免碰撞时间为基础建立博弈收益，通过寻找博弈模型的Nash均衡得到车辆的最优策略计划采用的博弈模型。Talebpour[11]等基于非零和博弈对强连通环境下的换道行为进行建模，重点关注了车联网强通信环境下信息流对车辆换道决策的作用。他们提出了一个简单版本的服务框架及一种基于模拟矩量法标定的校正方法，使用真实车流数据校正，所提出的框架具备预测换道行为的能力。

## 4.模型选择：

在面对困难场景下的自动驾驶汽车集体行为优化问题时，平均场博弈法（Mean Field Games, MFG）提供了一个强有力的工具。这种方法能够模拟大量交互智能体的行为，特别适用于信息不完全和通信延迟的问题场景，从而提高决策过程的鲁棒性。

平均场博弈法的核心在于将个体间的直接相互作用转化为个体与整个系统平均状态的交互。这种方法的优势在于能够处理高维问题而不至于陷入“维数灾难”，并且能够通过机器学习框架进行数值求解。在自动驾驶领域，这种方法可以用来模拟和优化车辆的集体行为，例如在复杂的交通网络中，通过预测和调整车辆的行驶策略来减少拥堵和提高安全性。

此外，平均场博弈法在处理信息不完全和通信延迟问题上具有独特优势。通过对驾驶员反应的预测和量化分析，可以赋予可能影响换道的车辆不同权重参与收益计算，从而优化决策过程。这种方法允许每个自动驾驶汽车独立地优化其控制策略，而无需与其他车辆进行额外的信息交换，这在实际应用中是非常重要的，因为它减少了通信开销并提高了系统的响应速度。

## 5.计划采用博弈论开展研究的主要内容

**理论层面：建立基于平均场博弈的自动驾驶汽车决策模型**：该模型将自动驾驶汽车在困难场景下的决策过程视为一个平均场博弈问题。在这个框架下，每辆汽车都被视作一个代表性的参与者，它不仅考虑自身的策略，还考虑其他汽车的平均行为对决策的影响。这种模型能够处理大规模交互主体的集体行为，并且可以简化复杂交互，使其更易于分析和求解。

通过平均场博弈理论，可以研究自动驾驶汽车在不同交通环境和驾驶条件下的群体行为。这包括在复杂交通流、紧急情况响应、以及不同天气和路面条件下的驾驶策略。该模型将帮助理解在这些困难场景下，自动驾驶汽车如何通过学习和适应周围的车辆行为来优化自身的决策。

仿真层面：助先进的仿真软件，如SUMO、CarSim等，可以在虚拟环境中重现复杂的交通场景，并模拟自动驾驶汽车在这些场景下基于平均场博弈模型的行为。这种仿真可以帮助研究者观察和分析在不同策略下，自动驾驶汽车群体的行为模式和交通流的变化。

## 6.预期研究所取得的目标

开发一个基于平均场博弈论的自动驾驶汽车决策模型。这个模型将能够描述自动驾驶汽车如何在复杂和动态变化的交通环境中做出最优决策。模型将综合考虑多车交互、实时交通信息、以及车辆自身的动力学和运动学限制，提供一种系统化的方法来处理这些复杂性。对提出的博弈论模型进行深入的理论分析，包括数学建模、算法设计、以及模型的稳定性和收敛性分析。

利用先进的交通仿真软件，如SUMO或CarSim，构建不同交通场景，包括城市道路、高速公路和不同天气条件，来测试和验证所提出的模型。通过仿真实验，评估模型在处理交通拥堵、紧急情况应对、以及多车协作等方面的有效性，并分析其对交通流的影响。

## 参考文献

1. 陈华.基于博弈论的自动驾驶车辆协同换道分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),
2. Na X, Cole D J. Game-theoretic modeling of the steering interaction between a human driver and a vehicle collision avoidance controller [J]. IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 2015, 45(1): 25-38.
3. Na X, Cole D J. Linear quadratic game and non-cooperative predictive methods for potential application to modelling driver–AFS interactive steering control [J]. Vehicle System Dynamics, 2013, 51(2): 165-198.
4. Flad M, Otten J, Schwab S, et al. Necessary and sufficient conditions for the design of cooperative shared control[C]. 2014 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), 2014: 1253-1259.
5. Flad M, Otten J, Schwab S, et al. Steering driver assistance system: A systematic cooperative shared control design approach[C]. 2014 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), 2014: 3585-3592.
6. Wang J, Dai M, Yin G, et al. Output-feedback robust control for vehicle path tracking considering different human drivers’ characteristics[J]. Mechatronics, 2018, 50: 402-412.
7. Zhang K, Wang J, Chen N, et al. A non-cooperative vehicle-to-vehicle trajectory-planning algorithm with consideration of driver’s characteristics[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2018: 1-16.
8. 薛春铭. 基于博弈的车辆协作换道策略研究[D].大连:大连理工大学, 2017
9. 薛春铭, 谭国真, 丁男, 等. 基于博弈论的人类驾驶与无人驾驶协作换道模型[J]. 计算机工程, 2017(12):267-272.
10. Kita H. A merging giveway interaction model of cars in a merging section: a game theoretic analysis[J]. Transportation Research Part A Policy & Practice, 1999, 33(3–4):305-312
11. Talebpour A, Mahmassani H S, Hamdar S H. Modeling Lane-Changing Behavior in a Connected Environment: A Game Theory Approach[J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2015, 59:216-232.