



吉林大学

JILIN UNIVERSITY

# 本科生毕业论文（设计）

中文题目 测试

英文题目 test

学生姓名 Shem

学 号 20221511

学 院 通信工程学院

专 业 自动化

指导教师 test

2022 年 6 月

# 吉林大学学士学位论文（设计）承诺书

本人郑重承诺：所呈交的学士学位毕业论文（设计），是本人在指导教师的指导下，独立进行实验、设计、调研等工作基础上取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文（设计）不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的作品成果。对本人实验或设计中做出重要贡献的个人或集体，均已在文中以明确的方式注明。本人完全意识到本承诺书的法律结果由本人承担。

学士学位论文（设计）作者签名：

2022 年 5 月 29 日

## 摘 要

在环境问题逐渐严峻的今天，车辆节能化行驶已经成为大势所趋。智能车辆的技术不断进步，其可以在行驶过程中感知车辆自身和周车环境信息。论文将以智能车辆作为研究对象，利用深度强化学习的相关算法对车辆行驶进行节能运动规划。论文的主要研究归结为以下三个方面：

首先，搭建了智能车行驶的虚拟仿真场景。通过分析深度强化学习应用于车辆运动决策控制的特点，采用开源车辆仿真器 Carla 和 Python 环境建立了联合仿真平台，并利用 Carla 仿真器中的车辆模型以及各种传感器使得联合仿真环境可以成为深度强化学习的训练环境。为本论文后续不同场景下算法有效性的验证提供了实验平台。

**关键词：** 车辆运动规划，深度强化学习，跟车行驶，红绿灯通行策略

# ABSTRACT

Environmental problems are becoming increasingly serious, and energy-saving driving of vehicles has become the general trend. With the continuous progress of intelligent vehicles, they can perceive the information of their own vehicle and environment in the process of driving. This paper takes intelligent vehicles as the research object and uses relevant algorithms of deep reinforcement learning to carry out energy-saving motion planning for vehicle driving. The main progress of this paper comes down to the following three aspects:

Firstly, the virtual simulation scene of intelligent vehicle driving is built. By analyzing the characteristics of deep reinforcement learning applied to vehicle motion decision control, a co-simulation platform is established by using the open source vehicle simulator Carla and Python environment, and the vehicle model and various sensors in Carla sensor are used to make the co-simulation environment become the training environment in reinforcement learning. It provides an experimental platform for verifying the validity of the algorithm in different scenarios.

**Key Words:** Vehicle Energy-Saving Planning, Deep Reinforcement Learning, Car-Following Operation, Traffic Light Intersection Driving Strategy

目 录

第 1 章 绪论 . . . . . 1

1.1 课题研究背景及意义 . . . . . 1

1.2 汽车经济性行驶的研究现状 . . . . . 1

1.3 深度强化学习的研究现状 . . . . . 2

第 2 章 绪论 . . . . . 3

2.1 课题研究背景及意义 . . . . . 3

2.2 汽车经济性行驶的研究现状 . . . . . 3

2.3 深度强化学习的研究现状 . . . . . 3

2.3.1 马尔可夫决策过程 . . . . . 3

第 3 章 绪论 . . . . . 4

3.1 课题研究背景及意义 . . . . . 4

3.2 汽车经济性行驶的研究现状 . . . . . 4

3.3 深度强化学习的研究现状 . . . . . 4

3.3.1 马尔可夫决策过程 . . . . . 4

第 4 章 绪论 . . . . . 5

4.1 课题研究背景及意义 . . . . . 5

4.2 汽车经济性行驶的研究现状 . . . . . 5

4.3 深度强化学习的研究现状 . . . . . 6

第 5 章 绪论 . . . . . 7

5.1 课题研究背景及意义 . . . . . 7

5.2 汽车经济性行驶的研究现状 . . . . . 7

5.3 深度强化学习的研究现状 . . . . . 7

5.3.1 马尔可夫决策过程 . . . . . 7

第 6 章 绪论 . . . . . 8

6.1 课题研究背景及意义 . . . . . 8

6.2 汽车经济性行驶的研究现状 . . . . . 8

6.3 深度强化学习的研究现状 . . . . . 9

第 7 章 绪论 . . . . . 10

7.1 课题研究背景及意义 . . . . . 10

7.2 汽车经济性行驶的研究现状 . . . . . 10

7.3 深度强化学习的研究现状 . . . . . 10

7.3.1 马尔可夫决策过程 . . . . . 10

致 谢 . . . . . 11

## 第 1 章 绪论

### 1.1 课题研究背景及意义

传统的燃油汽车以石油作为能源不仅会加剧上述的能源危机，同时也会污染身边的绿水青山。传统的燃油汽车每消耗一千克汽油，将至少释放两千克的二氧化碳和其他的有害物质 [3]。所以汽车的节能性能与减少排放的能力相辅相成。国务院也计划于 2025 年实现我国的乘用车每 100 千米的耗油量低于 5L 的目标 [4]。

目前，主流的提高车辆燃油经济性的方法大抵分为以下四种 [5]：（1）对整个交通系统进行优化管理；（2）对汽车发动机、变速器和整车设计等方面进行技术改进；（3）对汽车的驱动系统进行改造，如推进车辆的电动化；（4）采用经济性的驾驶技术。在以上的四种方法中，汽车的经济性行驶大概占据了 15% 的节能潜力。也有学者认为车辆的经济性驾驶的潜能可以达到 30% [6]。经济性驾驶可以在狭义上被理解为油耗只与驾驶员的对油门踏板、制动踏板的操作和档位选择有关，即可以通过对驾驶员的驾驶策略进行优化和改进以实现节能减排的目的。

传统的燃油汽车以石油作为能源不仅会加剧上述的能源危机，同时也会污染身边的绿水青山。传统的燃油汽车每消耗一千克汽油，将至少释放两千克的二氧化碳和其他的有害物质 [3]。所以汽车的节能性能与减少排放的能力相辅相成。国务院也计划于 2025 年实现我国的乘用车每 100 千米的耗油量低于 5L 的目标 [4]。

目前，主流的提高车辆燃油经济性的方法大抵分为以下四种 [5]：（1）对整个交通系统进行优化管理；（2）对汽车发动机、变速器和整车设计等方面进行技术改进；（3）对汽车的驱动系统进行改造，如推进车辆的电动化；（4）采用经济性的驾驶技术。在以上的四种方法中，汽车的经济性行驶大概占据了 15% 的节能潜力。也有学者认为车辆的经济性驾驶的潜能可以达到 30% [6]。经济性驾驶可以在狭义上被理解为油耗只与驾驶员的对油门踏板、制动踏板的操作和档位选择有关，即可以通过对驾驶员的驾驶策略进行优化和改进以实现节能减排的目的。

### 1.2 汽车经济性行驶的研究现状

汽车经济性行驶的研究大概分为两类，一类为基于规则的经济性驾驶理论，另一类是基于优化的经济性驾驶理论。

基于规则的经济性驾驶理论是指通过驾驶经验的总结、汽车相关理论研究以及道路测试等方法对经济性驾驶策略进行探究。例如 El-Shawarby 等人通过实际道路测试收集到的数据进行分析，得到了在单位距离内，车速在 60-90 千米每小时这个区间时燃油消耗率是最佳的；Demir E 等人认为怠速超过半分钟的油耗大于重新启动发动机的油耗，也正是因为混合动力和电动汽车没有怠速的情况，所以他们的燃油经济性要优于内燃机汽车；Wang 等人认为加速和减速的频率同样会导致燃油的额外消耗，所以为了达到燃油经济最

优，要令车辆平顺地行驶 [7]。

### 1.3 深度强化学习的研究现状

汽车经济性行驶的研究大概分为两类，一类为基于规则的经济性驾驶理论，另一类是基于优化的经济性驾驶理论。

基于规则的经济性驾驶理论是指通过驾驶经验的总结、汽车相关理论研究以及道路测试等方法对经济性驾驶策略进行探究。例如 EI-Shawarby 等人通过实际道路测试收集到的数据进行分析，得到了在单位距离内，车速在 60-90 千米每小时这个区间时燃油消耗率是最佳的；Demir E 等人认为怠速超过半分钟的油耗大于重新启动发动机的油耗，也正是因为混合动力和电动汽车没有怠速的情况，所以他们的燃油经济性要优于内燃机汽车；Wang 等人认为加速和减速的频率同样会导致燃油的额外消耗，所以为了达到燃油经济最优，要令车辆平顺地行驶 [7]。



## 第 2 章 绪论

### 2.1 课题研究背景及意义

汽车已经随着现代社会科技与经济水平的飞速提高走进了众多对出行便捷性和舒适度有需求的人家。我国的汽车数量早已在 2019 年底就已经达到 2.6 亿辆，其中私家车占据汽车保有量总数的 77% 左右。

### 2.2 汽车经济性行驶的研究现状

### 2.3 深度强化学习的研究现状

#### 2.3.1 马尔可夫决策过程

汽车已经随着现代社会科技与经济水平的飞速提高走进了众多对出行便捷性和舒适度有需求的人家。我国的汽车数量早已在 2019 年底就已经达到 2.6 亿辆，其中私家车占据汽车保有量总数的 77% 左右。

## 第 3 章 绪论

### 3.1 课题研究背景及意义

汽车已经随着现代社会科技与经济水平的飞速提高走进了众多对出行便捷性和舒适度有需求的人家。我国的汽车数量早已在 2019 年底就已经达到 2.6 亿辆，其中私家车占据汽车保有量总数的 77% 左右。

### 3.2 汽车经济性行驶的研究现状

### 3.3 深度强化学习的研究现状

#### 3.3.1 马尔可夫决策过程

汽车已经随着现代社会科技与经济水平的飞速提高走进了众多对出行便捷性和舒适度有需求的人家。我国的汽车数量早已在 2019 年底就已经达到 2.6 亿辆，其中私家车占据汽车保有量总数的 77% 左右。

## 第 4 章 绪论

### 4.1 课题研究背景及意义

传统的燃油汽车以石油作为能源不仅会加剧上述的能源危机,同时也会污染身边的绿水青山。传统的燃油汽车每消耗一千克汽油,将至少释放两千克的二氧化碳和其他的有害物质 [3]。所以汽车的节能性能与减少排放的能力相辅相成。国务院也计划于 2025 年实现我国的乘用车每 100 千米的耗油量低于 5L 的目标 [4]。

目前,主流的提高车辆燃油经济性的方法大抵分为以下四种 [5]:(1)对整个交通系统进行优化管理;(2)对汽车发动机、变速器和整车设计等方面进行技术改进;(3)对汽车的驱动系统进行改造,如推进车辆的电动化;(4)采用经济性的驾驶技术。在以上的四种方法中,汽车的经济性行驶大概占据了 15% 的节能潜力。也有学者认为车辆的经济性驾驶的潜能可以达到 30%[6]。经济性驾驶可以在狭义上被理解为油耗只与驾驶员的对油门踏板、制动踏板的操作和档位选择有关,即可以通过对驾驶员的驾驶策略进行优化和改进以实现节能减排的目的。

传统的燃油汽车以石油作为能源不仅会加剧上述的能源危机,同时也会污染身边的绿水青山。传统的燃油汽车每消耗一千克汽油,将至少释放两千克的二氧化碳和其他的有害物质 [3]。所以汽车的节能性能与减少排放的能力相辅相成。国务院也计划于 2025 年实现我国的乘用车每 100 千米的耗油量低于 5L 的目标 [4]。

目前,主流的提高车辆燃油经济性的方法大抵分为以下四种 [5]:(1)对整个交通系统进行优化管理;(2)对汽车发动机、变速器和整车设计等方面进行技术改进;(3)对汽车的驱动系统进行改造,如推进车辆的电动化;(4)采用经济性的驾驶技术。在以上的四种方法中,汽车的经济性行驶大概占据了 15% 的节能潜力。也有学者认为车辆的经济性驾驶的潜能可以达到 30%[6]。经济性驾驶可以在狭义上被理解为油耗只与驾驶员的对油门踏板、制动踏板的操作和档位选择有关,即可以通过对驾驶员的驾驶策略进行优化和改进以实现节能减排的目的。

### 4.2 汽车经济性行驶的研究现状

汽车经济性行驶的研究大概分为两类,一类为基于规则的经济性驾驶理论,另一类是基于优化的经济性驾驶理论。

基于规则的经济性驾驶理论是指通过驾驶经验的总结、汽车相关理论研究以及道路测试等方法对经济性驾驶策略进行探究。例如 El-Shawarby 等人通过实际道路测试收集到的数据进行分析,得到了在单位距离内,车速在 60-90 千米每小时这个区间时燃油消耗率是最佳的;Demir E 等人认为怠速超过半分钟的油耗大于重新启动发动机的油耗,也正是因为混合动力和电动汽车没有怠速的情况,所以他们的燃油经济性要优于内燃机汽车;Wang 等人认为加速和减速的频率同样会导致燃油的额外消耗,所以为了达到燃油经济最

优，要令车辆平顺地行驶 [7]。

### 4.3 深度强化学习的研究现状

汽车经济性行驶的研究大概分为两类，一类为基于规则的经济性驾驶理论，另一类是基于优化的经济性驾驶理论。

基于规则的经济性驾驶理论是指通过驾驶经验的总结、汽车相关理论研究以及道路测试等方法对经济性驾驶策略进行探究。例如 EI-Shawarby 等人通过实际道路测试收集到的数据进行分析，得到了在单位距离内，车速在 60-90 千米每小时这个区间时燃油消耗率是最佳的；Demir E 等人认为怠速超过半分钟的油耗大于重新启动发动机的油耗，也正是因为混合动力和电动汽车没有怠速的情况，所以他们的燃油经济性要优于内燃机汽车；Wang 等人认为加速和减速的频率同样会导致燃油的额外消耗，所以为了达到燃油经济最优，要令车辆平顺地行驶 [7]。

## 第 5 章 绪论

### 5.1 课题研究背景及意义

汽车已经随着现代社会科技与经济水平的飞速提高走进了众多对出行便捷性和舒适度有需求的人家。我国的汽车数量早已在 2019 年底就已经达到 2.6 亿辆，其中私家车占据汽车保有量总数的 77% 左右。

### 5.2 汽车经济性行驶的研究现状

### 5.3 深度强化学习的研究现状

#### 5.3.1 马尔可夫决策过程

汽车已经随着现代社会科技与经济水平的飞速提高走进了众多对出行便捷性和舒适度有需求的人家。我国的汽车数量早已在 2019 年底就已经达到 2.6 亿辆，其中私家车占据汽车保有量总数的 77% 左右。

## 第 6 章 绪论

### 6.1 课题研究背景及意义

传统的燃油汽车以石油作为能源不仅会加剧上述的能源危机,同时也会污染身边的绿水青山。传统的燃油汽车每消耗一千克汽油,将至少释放两千克的二氧化碳和其他的有害物质 [3]。所以汽车的节能性能与减少排放的能力相辅相成。国务院也计划于 2025 年实现我国的乘用车每 100 千米的耗油量低于 5L 的目标 [4]。

目前,主流的提高车辆燃油经济性的方法大抵分为以下四种 [5]:(1)对整个交通系统进行优化管理;(2)对汽车发动机、变速器和整车设计等方面进行技术改进;(3)对汽车的驱动系统进行改造,如推进车辆的电动化;(4)采用经济性的驾驶技术。在以上的四种方法中,汽车的经济性行驶大概占据了 15% 的节能潜力。也有学者认为车辆的经济性驾驶的潜能可以达到 30%[6]。经济性驾驶可以在狭义上被理解为油耗只与驾驶员的对油门踏板、制动踏板的操作和档位选择有关,即可以通过对驾驶员的驾驶策略进行优化和改进以实现节能减排的目的。

传统的燃油汽车以石油作为能源不仅会加剧上述的能源危机,同时也会污染身边的绿水青山。传统的燃油汽车每消耗一千克汽油,将至少释放两千克的二氧化碳和其他的有害物质 [3]。所以汽车的节能性能与减少排放的能力相辅相成。国务院也计划于 2025 年实现我国的乘用车每 100 千米的耗油量低于 5L 的目标 [4]。

目前,主流的提高车辆燃油经济性的方法大抵分为以下四种 [5]:(1)对整个交通系统进行优化管理;(2)对汽车发动机、变速器和整车设计等方面进行技术改进;(3)对汽车的驱动系统进行改造,如推进车辆的电动化;(4)采用经济性的驾驶技术。在以上的四种方法中,汽车的经济性行驶大概占据了 15% 的节能潜力。也有学者认为车辆的经济性驾驶的潜能可以达到 30%[6]。经济性驾驶可以在狭义上被理解为油耗只与驾驶员的对油门踏板、制动踏板的操作和档位选择有关,即可以通过对驾驶员的驾驶策略进行优化和改进以实现节能减排的目的。

### 6.2 汽车经济性行驶的研究现状

汽车经济性行驶的研究大概分为两类,一类为基于规则的经济性驾驶理论,另一类是基于优化的经济性驾驶理论。

基于规则的经济性驾驶理论是指通过驾驶经验的总结、汽车相关理论研究以及道路测试等方法对经济性驾驶策略进行探究。例如 El-Shawarby 等人通过实际道路测试收集到的数据进行分析,得到了在单位距离内,车速在 60-90 千米每小时这个区间时燃油消耗率是最佳的;Demir E 等人认为怠速超过半分钟的油耗大于重新启动发动机的油耗,也正是因为混合动力和电动汽车没有怠速的情况,所以他们的燃油经济性要优于内燃机汽车;Wang 等人认为加速和减速的频率同样会导致燃油的额外消耗,所以为了达到燃油经济最

优，要令车辆平顺地行驶 [7]。

### 6.3 深度强化学习的研究现状

汽车经济性行驶的研究大概分为两类，一类为基于规则的经济性驾驶理论，另一类是基于优化的经济性驾驶理论。

基于规则的经济性驾驶理论是指通过驾驶经验的总结、汽车相关理论研究以及道路测试等方法对经济性驾驶策略进行探究。例如 EI-Shawarby 等人通过实际道路测试收集到的数据进行分析，得到了在单位距离内，车速在 60-90 千米每小时这个区间时燃油消耗率是最佳的；Demir E 等人认为怠速超过半分钟的油耗大于重新启动发动机的油耗，也正是因为混合动力和电动汽车没有怠速的情况，所以他们的燃油经济性要优于内燃机汽车；Wang 等人认为加速和减速的频率同样会导致燃油的额外消耗，所以为了达到燃油经济最优，要令车辆平顺地行驶 [7]。

## 第 7 章 绪论

### 7.1 课题研究背景及意义

汽车已经随着现代社会科技与经济水平的飞速提高走进了众多对出行便捷性和舒适度有需求的人家。我国的汽车数量早已在 2019 年底就已经达到 2.6 亿辆，其中私家车占据汽车保有量总数的 77% 左右。

### 7.2 汽车经济性行驶的研究现状

### 7.3 深度强化学习的研究现状

#### 7.3.1 马尔可夫决策过程

汽车已经随着现代社会科技与经济水平的飞速提高走进了众多对出行便捷性和舒适度有需求的人家。我国的汽车数量早已在 2019 年底就已经达到 2.6 亿辆，其中私家车占据汽车保有量总数的 77% 左右。



## 致 谢

虽然还有一些工作没有完成，但是大学四年的生活在一点点走向尽头。我还清晰地记得自己初入校门时的激动，那是一段无需口罩的防护、可以直接看见彼此笑脸的时光。四年的大学生活没有想象中的轻松，在结束之际，向陪伴我走过困苦时期的各位表示感谢：  
.....