



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 122072843 A

(43) 申请公布日 2026. 05. 22

(21) 申请号 202411678050.5

(22) 申请日 2024.11.22

(71) 申请人 北京通用人工智能研究院

地址 100000 北京市海淀区颐和园路2号未来科技大厦东裙楼

(72) 发明人 封硕 杨敬轩 张浩 马修军

(74) 专利代理机构 北京冠和权律师事务所
11399

专利代理师 田春龙

(51) Int. Cl.

G06N 7/01 (2023.01)

G06N 3/0499 (2023.01)

G06F 17/10 (2006.01)

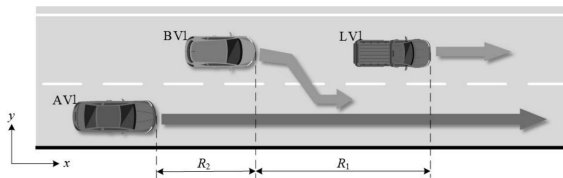
权利要求书2页 说明书10页 附图1页

(54) 发明名称

一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法及系统

(57) 摘要

本发明提供了一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法及系统；筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据，构建安全攸关场景集合，结合示性函数运算，获取安全攸关场景集合示性函数；进行自动微分计算基础均方误差损失函数，结合安全攸关场景集合示性函数，获取安全攸关场景损失函数；根据安全攸关场景损失函数，通过驾驶策略概率分布训练，形成驾驶策略概率分布智能学习模型；验证驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性、准确性，评估驾驶策略概率分布智能学习模型的安全精准度；提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。



1. 一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法,其特征在于,包括:

S100,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数;

S200,进行自动微分计算基础均方误差损失函数,结合安全攸关场景集合示性函数,获取安全攸关场景损失函数;

S300,根据安全攸关场景损失函数,通过驾驶策略概率分布训练,形成驾驶策略概率分布智能学习模型;

S400,验证驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性 & 准确度,评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。

2. 根据权利要求1所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法,其特征在于, S100包括:

S101,通过自动驾驶大数据抓取及大数据处理,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据;

S102,根据安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合;

S103,根据安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数。

3. 根据权利要求1所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法,其特征在于, S200包括:

S201,通过神经网络训练工具进行自动微分计算基础均方误差损失函数;自动驾驶汽车驾驶策略的神经网络设置为多层感知机架构;

S202,计算训练数据损失函数关于驾驶策略概率分布的参数梯度;

S203,根据安全攸关场景集合示性函数与基础均方误差损失函数乘积,安全攸关场景损失函数。

4. 根据权利要求1所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法,其特征在于, S300包括:

S301,根据安全攸关场景损失函数,进行安全攸关场景中驾驶行为数据稀缺性的驾驶策略概率分布训练;

S302,通过驾驶策略概率分布训练,训练后形成驾驶策略概率分布智能学习模型。

5. 根据权利要求1所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法,其特征在于, S400包括:

S401,提取安全攸关场景中自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据,将自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据输入智能驾驶跟驰模型,形成安全攸关智能驾驶跟驰验证模型;

S402,根据安全攸关智能驾驶跟驰验证模型,验证自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据的驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性 & 准确度;评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。

6. 一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估系统,其特征在于,包括:

安全攸关场景集合模块,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数;

安全攸关场景损失函数模块,进行自动微分计算基础均方误差损失函数,结合安全攸

关场景集合示性函数,获取安全攸关场景损失函数;

驾驶策略概率分布学习模块,根据安全攸关场景损失函数,通过驾驶策略概率分布训练,形成驾驶策略概率分布智能学习模型;

驾驶策略概率模型评估模块,验证驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性及准确度,评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。

7.根据权利要求6所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估系统,其特征在于,安全攸关场景集合模块,包括:

安全攸关场景数据筛选单元,通过自动驾驶大数据抓取及大数据处理,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据;

安全攸关场景集合架构单元,根据安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合;

场景集合示性函数单元,根据安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数。

8.根据权利要求6所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估系统,其特征在于,安全攸关场景损失函数模块,包括:

基础误差自动微分单元,通过神经网络训练工具进行自动微分计算基础均方误差损失函数;自动驾驶汽车驾驶策略的神经网络设置为多层感知机架构;

参数梯度运算单元,计算训练数据损失函数关于驾驶策略概率分布的参数梯度;

安全攸关损失函数运算单元,根据安全攸关场景集合示性函数与基础均方误差损失函数乘积,安全攸关场景损失函数。

9.根据权利要求6所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估系统,其特征在于,驾驶策略概率分布学习模块,包括:

驾驶策略概率训练单元,根据安全攸关场景损失函数,进行安全攸关场景中驾驶行为数据稀缺性的驾驶策略概率分布训练;

策略分布学习智能模型单元,通过驾驶策略概率分布训练,训练后形成驾驶策略概率分布智能学习模型。

10.根据权利要求6所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估系统,其特征在于,驾驶策略概率模型评估模块,包括:

智能驾驶跟驰验证单元,提取安全攸关场景中自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据,将自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据输入智能驾驶跟驰模型,形成安全攸关智能驾驶跟驰验证模型;

分布学习智能模型评估单元,根据安全攸关智能驾驶跟驰验证模型,验证自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据的驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性及准确度;评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。

一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及自动驾驶安全场景智能学习测试评估技术领域,更具体地说,本发明涉及一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法及系统。

背景技术

[0002] 当前自动驾驶汽车面临严峻的安全问题,随着自动驾驶汽车大规模普及严重交通事故随之增加,这些安全问题从根本上阻碍了自动驾驶汽车的技术发展和规模化应用,因此亟需对自动驾驶汽车进行安全性测试评估;自动驾驶汽车测试评估的基本流程为生成一系列测试场景对自动驾驶汽车进行测试,然后收集测试结果并对自动驾驶汽车的安全性进行评估,通常可以得到事故率等测试指标的估计值;然而,基于蒙特卡洛采样理论的真实道路测试评估方法是十分低效的,因为自然驾驶环境中的安全关键场景(如碰撞事故场景等)非常罕见,这导致得到事故率的估计需要大量的测试里程。据测算,一款自动驾驶汽车需要在自然驾驶环境中累积测试超过100亿公里才能得到较高置信度的安全性能测试结果;为了解决真实道路测试的低效性,智能等效加速测试场景生成方法通过提高安全攸关场景的采样概率来提高自动驾驶汽车测试评估的效率,其中的一个关键步骤是识别对自动驾驶汽车而言安全攸关的场景;此步骤需要对自动驾驶汽车的驾驶策略进行估计,而如何在测试的过程中对自动驾驶汽车在安全攸关场景中的驾驶策略进行学习等问题尚待解决;因此,有必要提出一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法及系统,以至少部分地解决现有技术中存在的问题。

发明内容

[0003] 在发明内容部分中引入了一系列简化形式的概念,这将在具体实施方式部分中进一步详细说明;本发明的发明内容部分并不意味着要试图限定出所要求保护的技术方案的关键特征和必要技术特征,更不意味着试图确定所要求保护的技术方案的保护范围。

[0004] 为至少部分地解决上述问题,本发明提供了一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法,包括:

[0005] S100,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数;

[0006] S200,进行自动微分计算基础均方误差损失函数,结合安全攸关场景集合示性函数,获取安全攸关场景损失函数;

[0007] S300,根据安全攸关场景损失函数,通过驾驶策略概率分布训练,形成驾驶策略概率分布智能学习模型;

[0008] S400,验证驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性及准确度,评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。

[0009] 优选的,S100包括:

- [0010] S101,通过自动驾驶大数据抓取及大数据处理,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据;
- [0011] S102,根据安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合;
- [0012] S103,根据安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数。
- [0013] 优选的,S200包括:
- [0014] S201,通过神经网络训练工具进行自动微分计算基础均方误差损失函数;自动驾驶汽车驾驶策略的神经网络设置为多层感知机架构;
- [0015] S202,计算训练数据损失函数关于驾驶策略概率分布的参数梯度;
- [0016] S203,根据安全攸关场景集合示性函数与基础均方误差损失函数乘积,安全攸关场景损失函数。
- [0017] 优选的,S300包括:
- [0018] S301,根据安全攸关场景损失函数,进行安全攸关场景中驾驶行为数据稀缺性的驾驶策略概率分布训练;
- [0019] S302,通过驾驶策略概率分布训练,训练后形成驾驶策略概率分布智能学习模型。
- [0020] 优选的,S400包括:
- [0021] S401,提取安全攸关场景中自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据,将自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据输入智能驾驶跟驰模型,形成安全攸关智能驾驶跟驰验证模型;
- [0022] S402,根据安全攸关智能驾驶跟驰验证模型,验证自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据的驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性及其准确度;评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。
- [0023] 本发明提供了一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估系统,包括:
- [0024] 安全攸关场景集合模块,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数;
- [0025] 安全攸关场景损失函数模块,进行自动微分计算基础均方误差损失函数,结合安全攸关场景集合示性函数,获取安全攸关场景损失函数;
- [0026] 驾驶策略概率分布学习模块,根据安全攸关场景损失函数,通过驾驶策略概率分布训练,形成驾驶策略概率分布智能学习模型;
- [0027] 驾驶策略概率模型评估模块,验证驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性及其准确度,评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。
- [0028] 优选的,安全攸关场景集合模块,包括:
- [0029] 安全攸关场景数据筛选单元,通过自动驾驶大数据抓取及大数据处理,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据;
- [0030] 安全攸关场景集合架构单元,根据安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合;
- [0031] 场景集合示性函数单元,根据安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数。
- [0032] 优选的,安全攸关场景损失函数模块,包括:
- [0033] 基础误差自动微分单元,通过神经网络训练工具进行自动微分计算基础均方误差

损失函数;自动驾驶汽车驾驶策略的神经网络设置为多层感知机架构;

[0034] 参数梯度运算单元,计算训练数据损失函数关于驾驶策略概率分布的参数梯度;

[0035] 安全攸关损失函数运算单元,根据安全攸关场景集合示性函数与基础均方误差损失函数乘积,安全攸关场景损失函数。

[0036] 优选的,驾驶策略概率分布学习模块,包括:

[0037] 驾驶策略概率训练单元,根据安全攸关场景损失函数,进行安全攸关场景中驾驶行为数据稀缺性的驾驶策略概率分布训练;

[0038] 策略分布学习智能模型单元,通过驾驶策略概率分布训练,训练后形成驾驶策略概率分布智能学习模型。

[0039] 优选的,驾驶策略概率模型评估模块,包括:

[0040] 智能驾驶跟驰验证单元,提取安全攸关场景中自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据,将自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据输入智能驾驶跟驰模型,形成安全攸关智能驾驶跟驰验证模型;

[0041] 分布学习智能模型评估单元,根据安全攸关智能驾驶跟驰验证模型,验证自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据的驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性;评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。

[0042] 相比现有技术,本发明至少包括以下有益效果:

[0043] 本发明一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法及系统,通过筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数;进行自动微分计算基础均方误差损失函数,结合安全攸关场景集合示性函数,获取安全攸关场景损失函数;根据安全攸关场景损失函数,通过驾驶策略概率分布训练,形成驾驶策略概率分布智能学习模型;验证驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性;评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度;安全攸关场景中的自动驾驶汽车驾驶策略概率分布学习效率显著提升;自动驾驶汽车驾驶策略概率分布的学习均方误差显著降低,提升自动驾驶智能学习安全关键场景中模拟道路测试评估准确性;提升自动驾驶智能学习安全关键场景中模拟道路测试评估准确性;提出自动驾驶汽车驾驶策略在线学习方法;在对自动驾驶汽车进行安全性测试的过程中,使用深度学习技术仅利用安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶行为数据对自动驾驶汽车的驾驶策略进行学习,使得训练过程中损失函数相对于神经网络参数的梯度的方差显著降低,从而有效地实现了自动驾驶汽车驾驶策略的在线学习;在对自动驾驶汽车进行安全性测试的过程中,本专利使用深度学习技术仅利用安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶行为数据对自动驾驶汽车的驾驶策略进行学习;有效地实现了自动驾驶汽车驾驶策略的在线学习,尤其是针对安全攸关场景中的驾驶策略。

[0044] 本发明所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法及系统,本发明的其它优点、目标和特征将部分通过下面的说明体现,部分还将通过对本发明的研究和实践而为本领域的技术人员所理解。

附图说明

[0045] 附图用来提供对本发明的进一步理解,并且构成说明书的一部分,与本发明的实施例一起用于解释本发明,并不构成对本发明的限制。在附图中:

[0046] 图1为本发明所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估系统一个实施例图。

[0047] 图2为本发明所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估系统另一个实施例图。

[0048] 图3为本发明所述的一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法及系统曲线实施例图。

具体实施方式

[0049] 下面结合附图以及实施例对本发明做进一步的详细说明,以令本领域技术人员参照说明书能够据以实施;如图所示,本发明提供了一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法,包括:

[0050] S100,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数;

[0051] S200,进行自动微分计算基础均方误差损失函数,结合安全攸关场景集合示性函数,获取安全攸关场景损失函数;

[0052] S300,根据安全攸关场景损失函数,通过驾驶策略概率分布训练,形成驾驶策略概率分布智能学习模型;

[0053] S400,验证驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性及准确度,评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。

[0054] 上述技术方案的原理及效果为:本发明提供了一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估方法,包括:筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数;进行自动微分计算基础均方误差损失函数,结合安全攸关场景集合示性函数,获取安全攸关场景损失函数;根据安全攸关场景损失函数,通过驾驶策略概率分布训练,形成驾驶策略概率分布智能学习模型;验证驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性及准确度,评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度;安全攸关场景中的自动驾驶汽车驾驶策略概率分布学习效率显著提升;自动驾驶汽车驾驶策略概率分布的学习均方误差显著降低,提升自动驾驶智能学习安全关键场景中模拟道路测试评估准确性;提升自动驾驶智能学习安全关键场景中模拟道路测试评估准确性;提出自动驾驶汽车驾驶策略在线学习方法;在对自动驾驶汽车进行安全性测试的过程中,使用深度学习技术仅利用安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶行为数据对自动驾驶汽车的驾驶策略进行学习,使得训练过程中损失函数相对于神经网络参数的梯度的方差显著降低,从而有效地实现了自动驾驶汽车驾驶策略的在线学习;在对自动驾驶汽车进行安全性测试的过程中,本专利使用深度学习技术仅利用安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶行为数据对自动驾驶汽车的驾驶策略进行学习;有效地实现了自动驾驶汽车驾驶策略的在线学习,尤其是针对

安全攸关场景中的驾驶策略；

[0055] 构建自动驾驶汽车超车场景1,如图1所示,其中被测自动驾驶汽车记为AV1,背景车辆记为BV1,BV1的前车记为LV1。在AV1超车BV1与LV1的过程中,若BV1也换道超车LV1,则BV1可能与AV1发生碰撞;超车场景的状态定义为 $s = [v_{BV}, R_1, \dot{R}_1, R_2, \dot{R}_2]$,其中 v_{BV} 表示BV1的速度, R_1 表示LV1与BV1的相对距离, $\dot{R}_1$ 表示LV1与BV1的相对速度, R_2 表示BV1与AV1的相对距离, $\dot{R}_2$ 表示BV1与AV1的相对速度;超车场景的动作定义为 $a = [a_{LV}, a_{BV}]$,其中 a_{LV} 表示LV1的加速度, a_{BV} 表示BV1的加速度;

[0056] 构建自动驾驶汽车超车场景2,如图2所示,其中被测自动驾驶汽车记为AV2,背景车辆记为BV2,BV2的前车记为LV2;在AV2超车BV2,接近LV2的过程中,若BV2也换道跟车LV2,则BV2可能与AV2发生碰撞;超车场景的状态定义为 $s_{12} = [v_{BV2}, R_{12}, \dot{R}_{12}, R_{22}, \dot{R}_{22}]$,其中 v_{BV2} 表示BV2的速度, R_{12} 表示LV2与BV2的相对距离, $\dot{R}_{12}$ 表示LV1与BV1的相对速度, R_{22} 表示BV2与AV2的相对距离, $\dot{R}_{22}$ 表示BV2与AV2的相对速度;超车场景的动作定义为 $a_{12} = [a_{LV2}, a_{BV2}]$,其中 a_{LV2} 表示LV2的加速度, a_{BV2} 表示BV2的加速度;

[0057] 自动驾驶汽车的驾驶策略概率分布为 $\pi(a|s)$,其中 a 为动作变量,包括自动驾驶汽车的横纵向加速度, s 为状态变量,包括驾驶环境中全部车辆的位置和速度;在对自动驾驶汽车进行测试的过程中,使用机器学习的方法利用自动驾驶汽车的驾驶行为数据 $\{s_i, a_i\}_{i=1}^N$ 对其驾驶策略进行学习;其中正整数 N 为驾驶行为数据的个数;测试环境中安全攸关场景的罕见性导致安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶行为数据非常稀少;利用在线收集到的驾驶行为数据 $\{s_i, a_i\}_{i=1}^N$ 对驾驶策略 π 进行学习;本专利提出一种自动驾驶汽车驾驶策略在线学习方法,该方法使用深度神经网络来学习自动驾驶汽车的驾驶策略概率分布,记为 π_θ ,其中 θ 表示神经网络的参数。针对驾驶策略训练面临的安全攸关场景中驾驶行为数据的稀缺性问题,本专利提出仅使用安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶数据来训练驾驶策略 π_θ ;具体而言,一批训练数据 $\{s_i, a_i\}_{i=1}^B$ 的损失函数为:

$$[0058] \quad L(\{s_i, a_i\}_{i=1}^B) = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B L(\pi_\theta(s_i), a_i)$$

[0059] 其中,正整数 B 是训练数据的批量大小, L 为损失函数,可取均方误差函数作为损失函数;基础训练方法对损失函数 L 关于驾驶策略 π_θ 的参数 θ 的梯度计算为:

$$[0060] \quad g = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \frac{\partial L(\pi_\theta(s_i), a_i)}{\partial \theta}$$

[0061] 由于安全攸关场景的罕见性,梯度 g 的方差非常大,需进一步降低;对损失函数 L 关于驾驶策略 π_θ 的参数 θ 的梯度计算公式为:

$$[0062] \quad G = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \frac{\partial L(\pi_\theta(s_i), a_i)}{\partial \theta} I_{S_c}(s_i)$$

[0063] 其中, $\frac{\partial L(\pi_\theta(s_i), a_i)}{\partial \theta}$ 通过神经网络训练工具提供的自动微分功能进行计算, S_c 表示安全攸关场景的集合, I_{S_c} 为 S_c 的示性函数:

$$[0064] \quad I_{S_c}(s_i) = \begin{cases} 1, & s_i \in S_c \\ 0, & s_i \notin S_c \end{cases}$$

[0065] 使用TTC确定安全攸关场景的集合 S_c ;TTC为在保持当前速度和方向的情况下,自动驾驶汽车与其他车辆发生碰撞所需的时间,计算公式为:

$$[0066] \quad TTC(s) = \frac{\Delta x}{\Delta v}$$

[0067] 其中, s 表示当前状态, Δx 表示自动驾驶汽车与其他车辆的相对距离, Δv 表示自动驾驶汽车与其他车辆的相对速度;当TTC低于某个阈值时,说明自动驾驶汽车与其他车辆之间的距离过近,存在碰撞的危险;设定TTC的阈值 τ ;则安全攸关场景的集合 S_c 为:

[0068] $S_c = \{s \in S : TTC(s) < \tau\}$;其中, S 表示全部可能的状态组成的集合;通过仅利用安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶数据进行训练,损失函数梯度 G 的方差可以显著降低,即 $Var(G) \leq Var(g)$,使得所提方法能够有效学习自动驾驶汽车的驾驶策略。

[0069] 在一个实施例中, $S100$ 包括:

[0070] $S101$,通过自动驾驶大数据抓取及大数据处理,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据;

[0071] $S102$,根据安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合;

[0072] $S103$,根据安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数。

[0073] 上述技术方案的原理及效果为:通过自动驾驶大数据抓取及大数据处理,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据;根据安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合;根据安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数。

[0074] 在一个实施例中, $S200$ 包括:

[0075] $S201$,通过神经网络训练工具进行自动微分计算基础均方误差损失函数;自动驾驶汽车驾驶策略的神经网络设置为多层感知机架构;

[0076] $S202$,计算训练数据损失函数关于驾驶策略概率分布的参数梯度;

[0077] $S203$,根据安全攸关场景集合示性函数与基础均方误差损失函数乘积,安全攸关场景损失函数。

[0078] 上述技术方案的原理及效果为:通过神经网络训练工具进行自动微分计算基础均方误差损失函数;自动驾驶汽车驾驶策略的神经网络设置为多层感知机架构;计算训练数据损失函数关于驾驶策略概率分布的参数梯度;根据安全攸关场景集合示性函数与基础均方误差损失函数乘积,安全攸关场景损失函数。

[0079] 在一个实施例中, $S300$ 包括:

[0080] $S301$,根据安全攸关场景损失函数,进行安全攸关场景中驾驶行为数据稀缺性的驾驶策略概率分布训练;

[0081] $S302$,通过驾驶策略概率分布训练,训练后形成驾驶策略概率分布智能学习模型。

[0082] 上述技术方案的原理及效果为:根据安全攸关场景损失函数,进行安全攸关场景中驾驶行为数据稀缺性的驾驶策略概率分布训练;通过驾驶策略概率分布训练,训练后形成驾驶策略概率分布智能学习模型。

[0083] 在一个实施例中, $S400$ 包括:

[0084] S401,提取安全攸关场景中自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据,将自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据输入智能驾驶跟驰模型,形成安全攸关智能驾驶跟驰验证模型;

[0085] S402,根据安全攸关智能驾驶跟驰验证模型,验证自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据的驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性 & 准确度;评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。

[0086] 上述技术方案的原理及效果为:提取安全攸关场景中自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据,将自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据输入智能驾驶跟驰模型,形成安全攸关智能驾驶跟驰验证模型;根据安全攸关智能驾驶跟驰验证模型,验证自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据的驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性 & 准确度;评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度;驾驶策略概率分布智能学习模型自动驾驶汽车驾驶策略的学习结果如图3所示;Mean squared error表示均方误差;Ordinary method表示现有技术均方误差曲线;Our method表示本专利均方误差曲线;Safety-critical states表示安全攸关场景;图3曲线表示安全攸关场景上的均方误差曲线,其中,曲线1表示现有技术安全攸关场景上的均方误差曲线,曲线2表示本发明测安全攸关场景上的均方误差曲线;由图3曲线本专利的均方误差显著降低;本专利所提方法可以显著有效学习安全攸关场景中的自动驾驶汽车驾驶策略。

[0087] 本发明提供了一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估系统,包括:

[0088] 安全攸关场景集合模块,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数;

[0089] 安全攸关场景损失函数模块,进行自动微分计算基础均方误差损失函数,结合安全攸关场景集合示性函数,获取安全攸关场景损失函数;

[0090] 驾驶策略概率分布学习模块,根据安全攸关场景损失函数,通过驾驶策略概率分布训练,形成驾驶策略概率分布智能学习模型;

[0091] 驾驶策略概率模型评估模块,验证驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性 & 准确度,评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。

[0092] 上述技术方案的原理及效果为:本发明提供了一种自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估系统,包括:安全攸关场景集合模块,筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据,构建安全攸关场景集合,结合示性函数运算,获取安全攸关场景集合示性函数;安全攸关场景损失函数模块,进行自动微分计算基础均方误差损失函数,结合安全攸关场景集合示性函数,获取安全攸关场景损失函数;驾驶策略概率分布学习模块,根据安全攸关场景损失函数,通过驾驶策略概率分布训练,形成驾驶策略概率分布智能学习模型;驾驶策略概率模型评估模块,验证驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性 & 准确度,评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度;安全攸关场景中的自动驾驶汽车驾驶策略概率分布学习效率显著提升;自动驾驶汽车驾驶策略概率分布的学习均方误差显著降低,提升自动驾驶智能学习安全关键场景中模拟道路测试评估准确性;提升自动驾驶智能学习安全关键场景中模拟道路测试评估准确性;提出自动驾驶汽车驾驶策略在线学习方法;在对自动驾驶汽车进行安全性测试的过程中,使用深度学习技术仅利用安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶行为数据对自动驾驶汽

车的驾驶策略进行学习,使得训练过程中损失函数相对于神经网络参数的梯度的方差显著降低,从而有效地实现了自动驾驶汽车驾驶策略的在线学习;在对自动驾驶汽车进行安全性测试的过程中,本专利使用深度学习技术仅利用安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶行为数据对自动驾驶汽车的驾驶策略进行学习;有效地实现了自动驾驶汽车驾驶策略的在线学习,尤其是针对安全攸关场景中的驾驶策略;

[0093] 构建自动驾驶汽车超车场景1,如图1所示,其中被测自动驾驶汽车记为AV1,背景车辆记为BV1,BV1的前车记为LV1。在AV1超车BV1与LV1的过程中,若BV1也换道超车LV1,则BV1可能与AV1发生碰撞;超车场景的状态定义为 $s = [v_{BV}, R_1, \dot{R}_1, R_2, \dot{R}_2]$,其中 v_{BV} 表示BV1的速度, R_1 表示LV1与BV1的相对距离, $\dot{R}_1$ 表示LV1与BV1的相对速度, R_2 表示BV1与AV1的相对距离, $\dot{R}_2$ 表示BV1与AV1的相对速度;超车场景的动作定义为 $a = [a_{LV}, a_{BV}]$,其中 a_{LV} 表示LV1的加速度, a_{BV} 表示BV1的加速度;

[0094] 构建自动驾驶汽车超车场景2,如图2所示,其中被测自动驾驶汽车记为AV2,背景车辆记为BV2,BV2的前车记为LV2;在AV2超车BV2,接近LV2的过程中,若BV2也换道跟车LV2,则BV2可能与AV2发生碰撞;超车场景的状态定义为 $s_{12} = [v_{BV2}, R_{12}, \dot{R}_{12}, R_{22}, \dot{R}_{22}]$,其中 v_{BV2} 表示BV2的速度, R_{12} 表示LV2与BV2的相对距离, $\dot{R}_{12}$ 表示LV1与BV1的相对速度, R_{22} 表示BV2与AV2的相对距离, $\dot{R}_{22}$ 表示BV2与AV2的相对速度;超车场景的动作定义为 $a_{12} = [a_{LV2}, a_{BV2}]$,其中 a_{LV2} 表示LV2的加速度, a_{BV2} 表示BV2的加速度;

[0095] 自动驾驶汽车的驾驶策略概率分布为 $\pi(a|s)$,其中 a 为动作变量,包括自动驾驶汽车的横纵向加速度, s 为状态变量,包括驾驶环境中全部车辆的位置和速度;在对自动驾驶汽车进行测试的过程中,使用机器学习的方法利用自动驾驶汽车的驾驶行为数据 $\{s_i, a_i\}_{i=1}^N$ 对其驾驶策略进行学习;其中正整数 N 为驾驶行为数据的个数;测试环境中安全攸关场景的罕见性导致安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶行为数据非常稀少;利用在线收集到的驾驶行为数据 $\{s_i, a_i\}_{i=1}^N$ 对驾驶策略 π 进行学习;本专利提出一种自动驾驶汽车驾驶策略在线学习方法,该方法使用深度神经网络来学习自动驾驶汽车的驾驶策略概率分布,记为 π_θ ,其中 θ 表示神经网络的参数。针对驾驶策略训练面临的安全攸关场景中驾驶行为数据的稀缺性问题,本专利提出仅使用安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶数据来训练驾驶策略 π_θ ;具体而言,一批训练数据 $\{s_i, a_i\}_{i=1}^B$ 的损失函数为:

$$[0096] \quad L(\{s_i, a_i\}_{i=1}^B) = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B L(\pi_\theta(s_i), a_i)$$

[0097] 其中,正整数 B 是训练数据的批量大小, L 为损失函数,可取均方误差函数作为损失函数;基础训练方法对损失函数 L 关于驾驶策略 π_θ 的参数 θ 的梯度计算为:

$$[0098] \quad g = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \frac{\partial L(\pi_\theta(s_i), a_i)}{\partial \theta}$$

[0099] 由于安全攸关场景的罕见性,梯度 g 的方差非常大,需进一步降低;对损失函数 L 关于驾驶策略 π_θ 的参数 θ 的梯度计算公式为:

$$[0100] \quad G = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B \frac{\partial L(\pi_{\theta}(s_i), a_i)}{\partial \theta} I_{S_c}(s_i)$$

[0101] 其中, $\frac{\partial L(\pi_{\theta}(s_i), a_i)}{\partial \theta}$ 通过神经网络训练工具提供的自动微分功能进行计算, S_c 表示安全攸关场景的集合, I_{S_c} 为 S_c 的示性函数:

$$[0102] \quad I_{S_c}(s_i) = \begin{cases} 1, & s_i \in S_c \\ 0, & s_i \notin S_c \end{cases}$$

[0103] 使用TTC确定安全攸关场景的集合 S_c ; TTC为在保持当前速度和方向的情况下, 自动驾驶汽车与其他车辆发生碰撞所需的时间, 计算公式为:

$$[0104] \quad TTC(s) = \frac{\Delta x}{\Delta v}$$

[0105] 其中, s 表示当前状态, Δx 表示自动驾驶汽车与其他车辆的相对距离, Δv 表示自动驾驶汽车与其他车辆的相对速度; 当TTC低于某个阈值时, 说明自动驾驶汽车与其他车辆之间的距离过近, 存在碰撞的危险; 设定TTC的阈值 τ ; 则安全攸关场景的集合 S_c 为:

[0106] $S_c = \{s \in S : TTC(s) < \tau\}$; 其中, S 表示全部可能的状态组成的集合; 通过仅利用安全攸关场景中自动驾驶汽车的驾驶数据进行训练, 损失函数梯度 G 的方差可以显著降低, 即 $Var(G) \leq Var(g)$, 使得所提方法能够有效学习自动驾驶汽车的驾驶策略。

[0107] 在一个实施例中, 安全攸关场景集合模块, 包括:

[0108] 安全攸关场景数据筛选单元, 通过自动驾驶大数据抓取及大数据处理, 筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据;

[0109] 安全攸关场景集合架构单元, 根据安全攸关场景数据, 构建安全攸关场景集合;

[0110] 场景集合示性函数单元, 根据安全攸关场景集合, 结合示性函数运算, 获取安全攸关场景集合示性函数。

[0111] 上述技术方案的原理及效果为: 安全攸关场景集合模块, 包括: 安全攸关场景数据筛选单元, 通过自动驾驶大数据抓取及大数据处理, 筛选自动驾驶大数据中的安全攸关场景数据; 安全攸关场景集合架构单元, 根据安全攸关场景数据, 构建安全攸关场景集合; 场景集合示性函数单元, 根据安全攸关场景集合, 结合示性函数运算, 获取安全攸关场景集合示性函数。

[0112] 在一个实施例中, 安全攸关场景损失函数模块, 包括:

[0113] 基础误差自动微分单元, 通过神经网络训练工具进行自动微分计算基础均方误差损失函数; 自动驾驶汽车驾驶策略的神经网络设置为多层感知机架构;

[0114] 参数梯度运算单元, 计算训练数据损失函数关于驾驶策略概率分布的参数梯度;

[0115] 安全攸关损失函数运算单元, 根据安全攸关场景集合示性函数与基础均方误差损失函数乘积, 安全攸关场景损失函数。

[0116] 上述技术方案的原理及效果为: 安全攸关场景损失函数模块, 包括: 基础误差自动微分单元通过神经网络训练工具进行自动微分计算基础均方误差损失函数; 自动驾驶汽车驾驶策略的神经网络设置为多层感知机架构; 参数梯度运算单元, 计算训练数据损失函数关于驾驶策略概率分布的参数梯度; 安全攸关损失函数运算单元, 根据安全攸关场景集合

示性函数与基础均方误差损失函数乘积,安全攸关场景损失函数。

[0117] 在一个实施例中,驾驶策略概率分布学习模块,包括:

[0118] 驾驶策略概率训练单元,根据安全攸关场景损失函数,进行安全攸关场景中驾驶行为数据稀缺性的驾驶策略概率分布训练;

[0119] 策略分布学习智能模型单元,通过驾驶策略概率分布训练,训练后形成驾驶策略概率分布智能学习模型。

[0120] 上述技术方案的原理及效果为:驾驶策略概率分布学习模块,包括:驾驶策略概率训练单元,根据安全攸关场景损失函数,进行安全攸关场景中驾驶行为数据稀缺性的驾驶策略概率分布训练;策略分布学习智能模型单元,通过驾驶策略概率分布训练,训练后形成驾驶策略概率分布智能学习模型。

[0121] 在一个实施例中,驾驶策略概率模型评估模块,包括:

[0122] 智能驾驶跟驰验证单元,提取安全攸关场景中自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据,将自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据输入智能驾驶跟驰模型,形成安全攸关智能驾驶跟驰验证模型;

[0123] 分布学习智能模型评估单元,根据安全攸关智能驾驶跟驰验证模型,验证自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据的驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性及准确度;评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度。

[0124] 上述技术方案的原理及效果为:驾驶策略概率模型评估模块,包括:智能驾驶跟驰验证单元,提取安全攸关场景中自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据,将自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据输入智能驾驶跟驰模型,形成安全攸关智能驾驶跟驰验证模型;分布学习智能模型评估单元,根据安全攸关智能驾驶跟驰验证模型,验证自动驾驶汽车安全攸关驾驶数据的驾驶策略概率分布智能学习模型的有效性及准确度;评估驾驶策略概率分布智能学习模型驾驶策略安全精准度;提升自动驾驶汽车驾驶策略智能学习评估的效率和准确度;驾驶策略概率分布智能学习模型自动驾驶汽车驾驶策略的学习结果如图3所示;Mean squared error表示均方误差;Ordinary method表示现有技术均方误差曲线;Our method表示本专利均方误差曲线;Safety-critical states表示安全攸关场景;图3曲线表示安全攸关场景上的均方误差曲线,其中,曲线1表示现有技术安全攸关场景上的均方误差曲线,曲线2表示本发明测安全攸关场景上的均方误差曲线;由图3曲线本专利的均方误差显著降低;本专利所提方法可以显著有效学习安全攸关场景中的自动驾驶汽车驾驶策略。

[0125] 尽管本发明的实施方案已公开如上,但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用,它完全可以被适用于各种适合本发明的领域,对于熟悉本领域的人员而言,可容易地实现另外的修改,因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下,本发明并不限于特定的细节与这里示出与描述的图例。

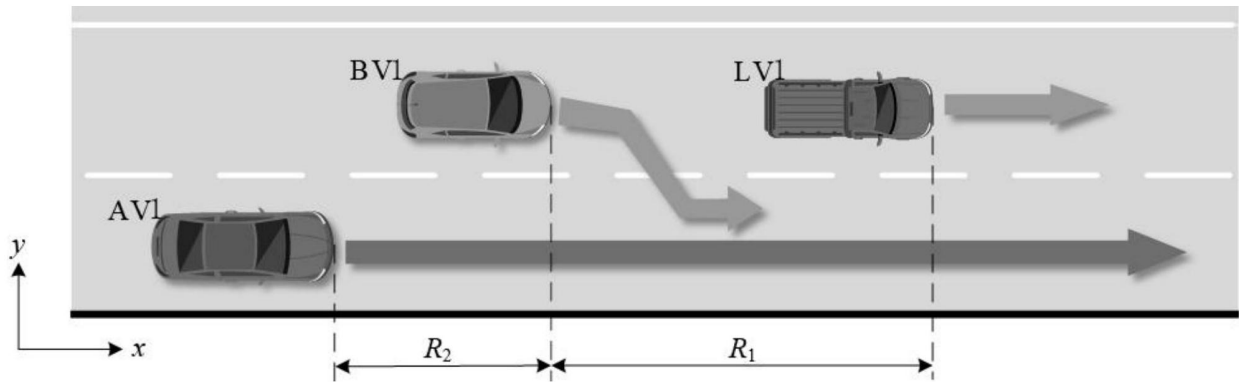


图1

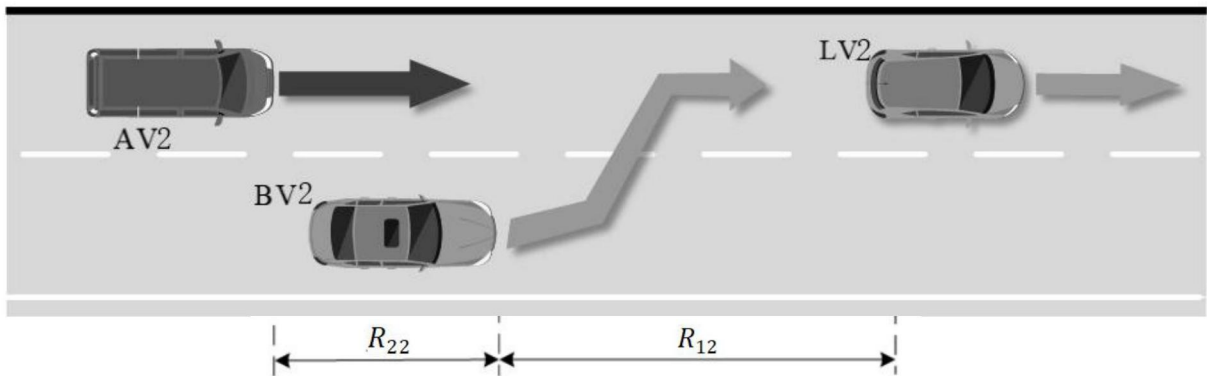


图2

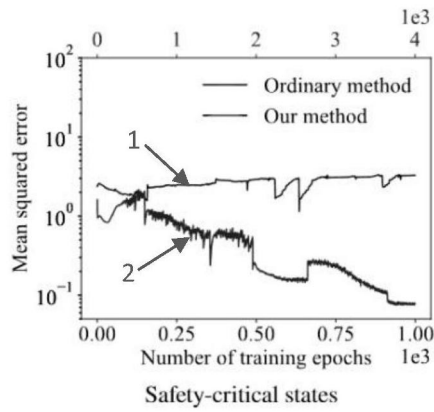


图3