

Research on In-vehicle Interaction Design Methods Based on Digital Twin Technology

Junqiu Zhang Zetian Liu Yuanyuan Ji

Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning, 116000, China

Abstract

This study aims to explore digital twin-based in-vehicle interaction design methodologies within the context of increasingly prevalent autonomous driving technologies. By investigating digital twin technology and its cross-domain applications, technical characteristics, as well as current features of automotive central control systems, we first establish a fundamental knowledge framework for digital twin-enabled vehicular interaction. Subsequently, drawing upon these technological attributes and integrating fundamental interaction design theories, we propose a set of interaction design principles grounded in digital twin technology. The objective is to construct an intelligent interaction system characterized by high efficiency, intuitiveness, and user-friendliness. Collectively, this research not only synthesizes and systematizes theoretical foundations for digital twin-based automotive HMI design, but also provides concrete implementation guidelines for practical applications. The comprehensive methodology presented herein bridges theoretical exploration with engineering practice in next-generation intelligent vehicle interface development.

Keywords

In-vehicle interaction design; Digital twin technology; User experience; Human-computer interaction; Design principles

基于数字孪生的车机交互设计方法研究

张君秋 刘泽田 纪元元

大连交通大学, 中国·辽宁 大连 116000

摘要

本研究旨在探讨在自动驾驶技术逐渐普及的时代大背景下, 基于数字孪生的车机交互设计方法。通过探讨数字孪生技术及其在多个领域的应用、技术特征, 当前汽车中控系统的特点, 首先构建起对数字孪生车机交互的基本知识框架。继而依据这些技术特点, 结合交互设计的基本理论, 提出基于数字孪生技术的交互设计准则。旨在构建一个高效、直观且易于理解的智能交互体系。整体而言, 本文不仅为基于数字孪生技术的汽车中控交互设计收集和整理了理论基础, 也为实际应用提供了具体的指导方针。

关键词

车机交互设计; 数字孪生技术; 用户体验; 人机交互; 设计原则

1 引言

近几年来, 得益于处理器制程的更新、环境传感器技术以及深度学习算法的飞速发展。汽车的智能化程度不断增加, 自动驾驶能力也不断提升, 自动驾驶功能逐渐成为新汽车的标配。而随着自动驾驶的普及, 传统以人为中心的车机系统交互不再适应新时代的需求, 而基于数字孪生技术的汽车中控系统交互界面, 以其清晰、易理解的特性, 受到了广大消费者的青睐。但当前市面上基于数字孪生的汽车中控交互界面, 依然能看到很多旧有中控设计思路下的遗留, 不能适应车辆驾驶逻辑的变化。

因此, 本次研究的重点, 在于系统性地整理数字孪生

系统的特征和当下汽车交互系统的交互形态, 并就这两者的特点, 梳理出自动驾驶中控交互设计需要注意的要点, 探讨未来基于数字孪生技术的车机交互设计准则, 为其他设计师及研究者提供思路参考。

2 数字孪生技术概述

数字孪生作为新兴的技术, 已经成为中国未来发展不可或缺的一环, 是城市和工业发展比较明晰的未来发展方向。在数字孪生技术中, 最直观的体验, 即是对传统行业可视化方式的创新。可视化的数据使得真实世界生产和日常活动中的各种“黑盒”更加直观和易于理解。据中国信息通信研究院 2023 年 1 月发布的《数字孪生城市白皮书(2022)》中总结的发展阶段来看, 数字孪生技术是继“表单数字化”“业务流程数字化”“决策数字化”之后“全面数字化”的必要基础建设。

【作者简介】张君秋(1996-), 男, 中国河南焦作人, 硕士, 从事人机交互研究。

就技术层面来看,数字孪生是一种以数据和模型的集成融合为基础,通过数字映射在虚拟空间实时构建物理对象,从而可模拟、验证、预测实体的生命周期过程,最终完成智能决策的优化闭环的技术。

2.1 数字孪生的特征

数字孪生技术的核心特征聚焦于数据映射、实时同步与双向互动三大方面。数据映射通过整合多源异构数据,构建物理实体在虚拟空间的精准镜像,这包括几何形态的拓扑重构及材料属性、动力学行为、环境交互特性的高保真还原。如在汽车行业中,数字孪生模型集成了发动机热力学参数、悬架系统动力学响应及车载传感器实时数据,形成与实体车辆等效的虚拟实体。这种全生命周期的数据映射能力,使研发人员能在虚拟环境中执行碰撞仿真、耐久性测试等复杂分析,从而大幅降低物理原型试验的成本。

数字孪生技术的实时同步机制,可实现物理系统与数字模型间的毫秒级数据交互。在汽车车机的数字孪生系统中,部署在车身各节点的多个传感器可持续采集参数,并通过车机处理器或云端平台,利用各种算法进行数据融合和动态修正偏差。如当电池管理系统检测到电芯电压异常时,孪生模型能作出多种反馈:①即时模拟热失控传播路径,并提前触发主动散热策略,缩短故障响应时间,提升系统可靠性。②将信息汇报于用户,便于用户能更快地对车辆的状态做出处理,从而提升系统安全性。

2.2 数字孪生技术在实际场景中的应用解析

而数字孪生系统的双向互动特征,可以让数字孪生系统具备主动干预物理世界的的能力。在自动驾驶场景中,代表车辆本身的虚拟模型不仅可以接收实车环境感知数据,还能通过机器学习等算法,生成更优控制策略反馈给执行机构。如特斯拉 Autopilot 系统便利用此技术实现影子模式迭代,其数字孪生体在虚拟环境中完成大量模拟驾驶,持续优化决策算法。不仅在虚拟中,其每一辆在路上开的汽车,也都在持续优化其自动驾驶决策模型。这种虚实交融的交互机制,使汽车制造商能突破物理测试的时空限制,首先在数字空间完成大部分功能验证,而后在小范围测试中持续优化决策模型能力,从而大幅缩短车型开发周期并降低工程成本。

离开汽车车机方面,将视野扩张到其他数字孪生技术的成熟应用领域,可以获取到更多数字孪生技术的特征信息。如在汽车工业领域,数字孪生技术的应用优势极为明显。其“全链路优化”的特点在各个阶段相当具备优势:如在设计阶段,保时捷利用数字孪生提升空气动力学外形迭代效率,减少风洞测试成本;在制造环节,宝马沈阳工厂可以通过设备数字孪生预测刀具磨损,从而帮助决策者采取更优策略,提高生产线效率;在运维方面,蔚来汽车基于用户车辆孪生模型,向用户提供多种个性化保养建议,降低客户汽车使用成本。这些实践充分证明了数字孪生技术的价值。

3 中控系统的发展概述

当前汽车中控系统设计呈现出三大特征:车内屏幕数量的增多、信息集成度的提升,以及交互方式的多样化。汽车的大部分功能都已被整合到屏幕上,而中控系统也主要通过屏幕来实现。除了中控大屏外,还有两项中控载体的创新和普及也为消费者提供了很多的便利。智能方向盘:作为与驾驶员最直接接触的交互界面,方向盘能控制汽车仪表、抬头显示以及中控屏幕上的诸多功能。驾驶员通过智能方向盘上的按键组合,能轻松执行常用操作,且无需将视线或手移向中控屏幕,从而简化了操作流程。这种设计使驾驶员能更专注于前方路况,显著提升了驾驶的安全性。HUD 显示屏:抬头显示(HUD)技术原本主要应用于飞机,随后逐渐在汽车行业中得到推广。该技术通过投影方式,在驾驶员正前方的玻璃上或其他介质上显示必要信息,使得驾驶员在视线不离开道路的情况下即可获取这些信息。这种方式有助于驾驶员保持对前方路况的专注,避免因查看仪表而分散注意力。

4 数字孪生车机交互设计策略

4.1 基于数字孪生技术特点的交互设计准则

自动驾驶中控系统交互设计的核心在于平衡功能复杂性与用户认知效率。简洁性准则要求界面通过视觉层级和模块化布局降低冗余信息干扰。结合前文对数字孪生技术特征的研究,综合人机界面设计规范与互动设计理论,本研究将从用户体验维度,对自动驾驶下汽车的中控系统进行设计。基于认知心理学与行为科学原理,提出以下4维度核心设计框架,旨在构建更具功能效率的智能交互体系。

4.1.1 信息获取最优化原则

过多的信息显示层级会使得用户的思考流程延长,从而影响信息理解的准确率。因此在设计中,必须考虑实际功能和信息表达之间“能指”和“意指”的隔阂。这需要在设计中,通过简化显示层级,减少抽象表达来降低系统复杂度,改善用户的交互体验。例如:关键驾驶信息应集中在主视觉区域内,采用高对比度色块或动态图标实现快速识别。在自动驾驶模式下,车速、导航路径、环境感知结果等核心参数需以不超过三种主色调呈现,避免多级菜单嵌套。

4.1.2 操作路径最优化原则

车机智能化使得车机拥有了更多的功能,除娱乐功能外,还承担了更多车辆行驶的内容,这使得车机的信息密度极大提高。因此,系统的运行需要更高的运作效率。在进行设计时,应当注意各项功能布局和层级的排布,界面跳转逻辑,基于行为科学中人们倾向于选择成本最低、收益最高的行为路径的理论,使用户能够以最简洁的方式完成任务。

4.1.3 计算机决策可视化原则

在自动驾驶中,用户和车辆行驶解耦。极端情况下,

用户操作甚至无法影响计算机操控行驶。这使得驾驶员和汽车前所未有地出现了信任和理解问题。在设计中,通过将计算机决策可视化,通过数字孪生场景中添加可视化程序决策链,机器判断值显示等信息,可以使得用户能更清晰地了解系统的运行逻辑和行为意图,避免因信息不透明而产生的不安和误解,从而增强用户对系统的信任和理解,优化人机交互效率和驾驶安全性。

4.1.4 多模态反馈设计

与其他级别的自动驾驶不同,L3级自动驾驶中虽然行车系统在特定情况下接管车辆。通过添加多模态反馈设计,通过多种感官通道(如视觉、听觉、触觉等)同时向用户反馈信息,以增强信息的传递效果和用户的感知体验。充分利用人类不同的感官优势,弥补单纯视觉反馈的不足。提高用户对系统反馈的接收效率和准确性,确保重要信息不被遗漏,从而优化交互效果。

4.2 交互的层级设计

根据低层级的交互设计原则:较少的层级数量可以提高用户的操作效率和使用体验。在此原则的基础上,结合数字孪生技术的特点和前文调研中获取到的用户真实需求,设计上将层级分为四个层级。即状态层/数据层/模型层(控制层)/背景层。在信息展示层级的设计中,需建立多维度的数据映射机制,以实现数字孪生技术的核心价值。

最高层级: 状态层,该层位于最上层,以固定形式出现,高度抽象,以色值等显示车辆的当前状态,以及提示驾驶员当前车辆的自动驾驶冗余程度。确保在用户第一时间能够快速了解车辆当前的运行概括,并辅助驾驶员决定使用自动驾驶还是接管驾驶。

第二层级: 数据层,该层展示优先度次高的车辆实时

信息,如车速、电量/油量、时间等辅助人类驾驶员了解车辆情况和周围情况的数据。

第三层级: 模型层,该层面直接展示数字孪生数字模型,且所见即所得,通过车载传感器网络实时采集的物理实体数据,与虚拟模型形成双向动态同步,构建包含基础行车参数、环境感知数据、系统运行状态的三层信息架构。

第四层级: 背景层,该层面结合自动驾驶技术需要的高精地图的特点,将车辆周边环境 and 位置反馈在该处,同时,该处展示的信息也是用户需求层级最低的一层。必要时刻,该处的信息会被上层信息所遮挡,以实现更优信息的聚焦。

5 总结

车机交互设计直接影响到用户的接受度和驾驶体验。本研究通过系统性融合数字孪生技术特征与自动驾驶交互需求,构建了具有前瞻性的中控系统设计框架。期望能为未来的研究者们,提供有效的设计参考。

参考文献

- [1] 边坤,韩冬楠,李思雨,等.多模态人机交互设计研究进展[J].机械设计,2024,41(11):199-204.
- [2] 殷兵,周良,何山,等.多模态虚拟人交互的技术进展和应用[J].人工智能,2024(3):15-26.
- [3] 崔中良.通感,具身与意识:人机交互实现的感知基础[J].湖北大学学报(哲学社会科学版),2024,51(2):143-152.
- [4] 阚延鹏,张振,陈玉,等.基于触觉提示的行车环境预警方案设计[J].黑龙江工业学院学报:综合版,2021,21(7):7.
- [5] 康国芳.手机界面中图形单元的认知负荷研究[D].东华大学^[2025-04-13].
- [6] 加瑞特.用户体验的要素:以用户为中心的Web.英文[M].机械工业出版社,2007.