

1-14-2022

Research and Implementation of On-board Human Factors Collaborative Simulation System

Changqing Yin

1. School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;;

Tianran Tan

1. School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;;

Jianmin Wang

2. College of Arts & Media, Tongji University, Shanghai 201804, China;;3. Shenzhen Research institute of Sun Yat-sen University, Shenzhen 518057, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Research and Implementation of On-board Human Factors Collaborative Simulation System

Abstract

Abstract: In order to improve the multi-vehicle evaluation and follow the trend of the Internet of Vehicles in modern vehicle-road collaborative system, an on-board human factors collaborative simulation system is built. *Distributed theory is used to establish a joint platform for vehicle simulation, and an on-board human factors co-simulation system is built and MQTT network is used to optimize the data distribution mechanism and data collection mechanism.* The simulation experiment shows that the built on-board human factor co-simulation platform reduces the coupling between the participating experimental subsystems and the main system, and has good robustness and flexibility. The distributed data distribution mechanism enables the multi-HMI subsystems to bury the point data collection and the data fusion effect is improved, and can be further used to support more simulation research of vehicle subsystems and other HMI terminal devices.

Keywords

on-board human factors, platform simulation, vehicle simulation, simulation collaboration

Recommended Citation

Yin Changqing, Tan Tianran, Wang Jianmin. Research and Implementation of On-board Human Factors Collaborative Simulation System[J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(1): 134-144.

车载人因协同仿真系统研究及实现

尹长青¹, 谭天然¹, 王建民^{2,3}

(1. 同济大学 软件学院, 上海 201804; 2. 同济大学 艺术与传媒学院, 上海 201804; 3. 中山大学 深圳研究院, 深圳 518057)

摘要: 为提高现代车路协同系统中人车联合测试能力, 搭建车载人因协同仿真系统。运用分布式理论建立汽车模拟仿真联合平台, 构建车载人因协同仿真系统, 基于MQTT(message queuing telemetry transport)消息队列遥测传输协议, 优化数据分发效率与数据采集效率。仿真实验表明: 构建的车载人因协同仿真平台降低了参与实验HMI(human machine interface)子系统与主系统的耦合性, 具有良好的鲁棒性和灵活性, 分布式数据分发机制使多终端子系统埋点数据采集与数据融合效果大大提升, 且可扩展以支持更多的车辆子系统和其他终端设备的仿真研究。

关键词: 车载人因; 仿真平台; 车辆模拟; 协同仿真

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2022) 01-0134-11

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0776

Research and Implementation of On-board Human Factors Collaborative Simulation System

Yin Changqing¹, Tan Tianran¹, Wang Jianmin^{2,3}

(1. School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. College of Arts & Media, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. Shenzhen Research institute of Sun Yat-sen University, Shenzhen 518057, China)

Abstract: In order to improve the multi-vehicle evaluation and follow the trend of the Internet of Vehicles in modern vehicle-road collaborative system, an on-board human factors collaborative simulation system is built. Distributed theory is used to establish a joint platform for vehicle simulation, and an on-board human factors co-simulation system is built and MQTT network is used to optimize the data distribution mechanism and data collection mechanism. The simulation experiment shows that the built on-board human factor co-simulation platform reduces the coupling between the participating experimental subsystems and the main system, and has good robustness and flexibility. The distributed data distribution mechanism enables the multi-HMI subsystems to bury the point data collection and the data fusion effect is improved, and can be further used to support more simulation research of vehicle subsystems and other HMI terminal devices.

Keywords: on-board human factors; platform simulation; vehicle simulation; simulation collaboration

引言

随着计算机图形技术的快速发展, 模拟驾驶已广泛应用于地面汽车、轨道交通驾驶领域。车辆驾驶模拟器基于计算机仿真技术, 搭建出高仿真的驾驶环境。结合车辆动力学模型、声觉模拟系统和体

感模拟系统, 为驾驶人提供沉浸式体验。通过驾驶模拟设备可以对驾驶人的驾驶行为、汽车的运动性能和人机交互等方面进行分析和验证, 以提高驾驶员—车辆—环境交互的安全性。相比较实车, 模拟驾驶器可以安全地模拟极限工况^[1], 精确地复现实

收稿日期: 2020-10-13 修回日期: 2021-02-19

基金项目: 国家社科基金后期资助项目(19FYSB040); 上海汽车工业科技发展基金(1717); 深圳市协同创新专项国际合作研究项目(GJHZ20190823164803756); 同济大学第十二期精品实验项目(0600104086)

第一作者: 尹长青(1971-), 男, 博士, 教授, 研究方向为虚拟现实。E-mail: yin_cq@qq.com

通讯作者: 王建民(1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向为汽车虚拟仿真、人机交互技术。E-mail: wangjianmin@tongji.edu.cn

验过程,还可以高效地进行数据收集。有关危险路况下智能汽车驾驶安全性验证,多模式驾驶下的人机交互以及驾驶员的情景意识和注意力、认知负荷、行为特征等研究越来越受到关注^[2]。随着汽车智能网联功能的增加,汽车 HMI(human machine interface)的设计也越来越复杂^[3]。为了提高用户的驾乘体验,确保汽车人机界面的安全性和可用性,在包括早期的原型设计和车辆量产等阶段在内的整个汽车人机界面设计过程,都应该不断地对人机界面进行评测验证^[4]。但实车 HMI 测试是较难控制和实施的,并且随着车辆功能及 HMI 交互设计复杂性的增加,测试的时间成本和人力成本等也都在上升,需要用更复杂的测试方法并设计大量测试用例。所以在前期的 HMI 设计阶段利用实车进行测试不太现实,一个经济易行的方法便是利用驾驶模拟器进行 HMI 测试^[5]。

因此,本文利用多终端系统建立联合车辆仿真平台,进行车载人因测试分析,使用虚拟现实等技术^[6]进行沉浸式体验开发,可用于多车辆平台的联合测试与真实用户行为捕捉与交互行为数据采集。

1 相关工作

针对本文提出的车载人因,国内外研究主要涉及以下几个问题:①车辆交互模拟。通过仿真外设和其他电子终端设备,模拟真实车辆的交互行为;②车辆驾驶场景模拟。通过搭建大型虚拟仿真场景,模拟车辆驾驶的真实环境;③车辆数据采集。通过大量采集设备与仿真模拟软件记录车辆数据,获取尤其是在危险路况下的车辆数据信息。

(1) 基于传统外设的驾驶模拟器。传统外设驾驶模拟器基于一般显示器进行汽车驾驶器的模拟,如德国德力斯顿大学基于显示器的开放源码流量模拟器^[7];澳大利亚昆士兰科技大学使用基于台架的 CARRS-Q(centre for accident research and road safety-queensland)高级驾驶模拟器^[8];英国运输研究实验室基于车辆仪表仿真的驾驶模拟器^[9];美国斯坦福大学基于罗技外设的驾驶模拟器,日本京都

大学基于一般显示器的汽车驾驶模拟器^[10]等。传统驾驶模拟器沉浸感低,且往往是针对单人的驾驶模拟设备,难以满足多人复杂路况场景。

(2) 高度耦合的驾驶场景。目前已有的驾驶模拟器场景往往是预先制作好的,如德国人体工程学大学为扩大模拟器内的人机交互的范围而构建的驾驶场景^[11],长安大学建立的城市道路条件下典型反应场景^[12];北京交通大学基于 3 种不同交通流密度的驾驶场景^[13];东北林业大学构建的城市道路交通环境^[14]等。这些场景与其所使用的驾驶模拟器高度耦合,只能支持单一场景中的特定任务,可配置度低。

(3) 车辆数据采集。车辆数据采集是指通过各种手段获取模拟过程中的车载人因数据。华南农业大学开发了一种基于 labview 的多功能驱动模拟器数据采集系统^[15];清华大学在驾驶模拟器中模拟高速公路上的超车场景,同时眼动跟踪装置收集 30 名驾驶员的眼动参数(包括:每帧图像中的凝视、扫描和闪烁参数)^[16];昆明理工大学采集了基于驾驶模拟器三维虚拟图像中物体图像和驾驶员视觉特性的驾驶模拟器图像^[17]。目前一般驾驶模拟器的车辆数据采集依托于诸如眼动仪和程序模拟的数据信息^[18],但往往只是一个或几个数据源,且并未保存实验时间戳^[19],在数据关联与多维度实验数据信息采集方面缺乏很多不足。

综上,国内外针对单一车载人因仿真展开了大量研究,然而,针对车载人因的虚拟建模与仿真问题,尚未妥善解决,尤其是缺乏可支持多车辆协同实验的车载人因虚拟仿真系统软件工具。

2 车载人因协同仿真平台概述

本文旨在面向未来智能座舱的体验评测,结合已有的智能模拟驾驶座舱设计及建设经验,根据特定的需求进行仿真台架硬件环境搭建与台架开发,营造仿真模拟驾驶实验环境,搭载智能车载系统人因测试平台。同时通过与仿真台架系统连接,探索模拟台架实验方法与评测流程,为建立下一代智能

座舱人机交互体验评价体系打下基础。

使用基于云的车辆模拟仿真平台,运用分布式部署策略,满足不同地域不同空间的模拟仿真测试需求。尤其在当下疫情期间,由于通行不便,测试人员无法聚集在同一个实验场,难以进行多对象联合测试。因此,使用多地域联合仿真测试有助于降低各子系统之间的耦合性。基于云端的模拟测试仿真系统支持各类用户接入操作,因此即便各个终端处于不同地域,通过联合仿真平台即可同时进行仿真测试模拟,大大减少了物理硬件的局域性。通过监控子系统统一预览规划测试仿真模拟内容,能有效地捕捉用户在危险路况下的注意力、认知负荷与行为特征,并对极限路况与特殊场景进行多次重复的测试,大大提升了模拟仿真效果。

3 车载人因协同仿真平台设计实现

3.1 车载人因仿真功能概述

车载人因仿真平台是基于驾驶模拟技术有效再现多样的车路协同应用系统,是实现车路协同应用系统综合评测的关键部分,其基于车载人员的主观感受,在高效性、安全性、生态性、舒适性、有效性等指标体系形成了一套标准化,面向人因的车路协同应用系统评估方法。为实现真实环境下的车载人因仿真系统,将系统划分为 3 个子系统:①监控屏幕子系统。用于整个实验过程中,对各类视角信息的捕获,埋点数据获取,场景中维护等,是协同车辆仿真平台的核心,为了实现其对数据采集、快速通信、实时监控与智能决策的要求,使用主从式架构(C/S)进行开发;②主/辅驾驶车辆子系统。危险路况模拟中的主要参与者与其他参与者,支持辅助使用虚拟现实技术增强用户的沉浸感体验,同时支持分布式系统部署在不同地域场景,使用 MQTT(message queuing telemetry transport)消息队列遥测传输协议架构,以 JSON (javascript object notation)字符串的方式对全局车辆数据进行位置同步与数据分析发送;③

触摸终端子系统。模拟真实车辆驾驶前各类仪表中控与触摸设备,如触摸型中控屏幕、触摸型仪表盘终端等。支持跨地域联合测试与埋点数据传输记录,使用网络同步终端画面到主测车台架与监控屏幕子系统。整个平台的体系结构如图 1 所示。

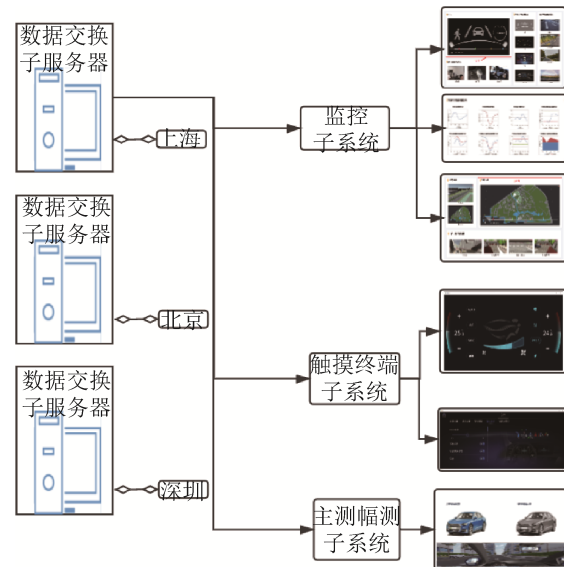


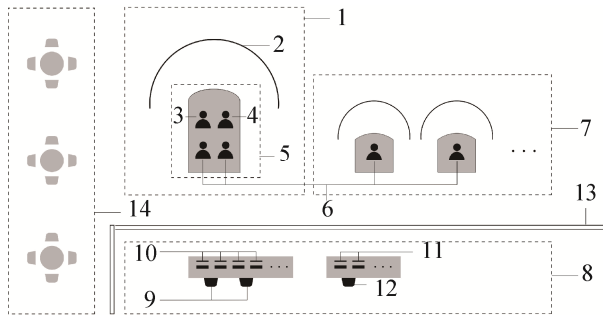
图 1 平台架构

Fig. 1 Platform architecture

3.2 多人共驾智能汽车虚拟仿真测试环境

3.2.1 硬件开发

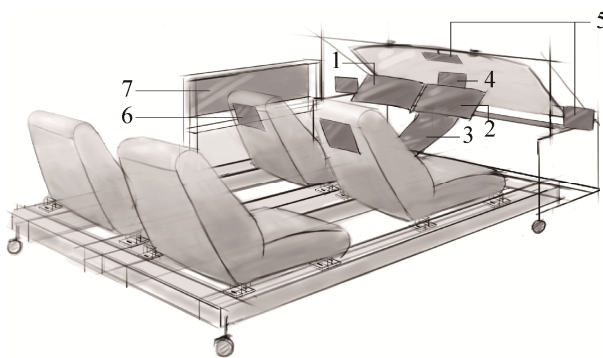
使用 Unity 搭建虚拟驾驶环境,特别是智能汽车驾驶环境,为驾驶情景中研究驾驶员行为、心理活动和智能汽车中的 HMI 行为提供平台。实验环境包括接待区、主测试区、辅助驾驶区、操作监控区;车架部分包括仪表盘、中控屏、信息系统显示屏、Head Display、内外后视镜、后排屏和车窗屏等,如图 2 所示。在主测试区用于进行主要测试实验,于主驾驶模拟器架台上搭建车载模型并构建环幕观察网,用于模拟真实挡风玻璃环境下驾驶员的视野信息,副驾驶为测试记录人员,用于记录被测试人员在虚拟仿真环境下,对车载元素感知和危险路况下的行为特征等。主测试区的实验环境如图 3 所示。



1-主驾驶模拟器台架;2-环幕;3-被测试人员;4-实验人员;5-台架;6-辅助驾驶人员;7-辅助驾驶区;8-操作监控区;9-记录人员;10-观察屏;11-测试工程师操纵屏;12-测试工程师;13-单面透视镜;14-接待区

图 2 实验仿真环境布局图

Fig. 2 Simulation system



1-仪表盘;2-中控屏;3-信息系统显示屏;4-Head Display;5-内外后视镜;6-后排屏;7-车窗屏

图 3 主测试环境设计图

Fig. 3 Main testing environment design

使用 Kanzi 或 Unity 开发仪表盘和中控屏幕终端子系统, 在 Head-Display 头显位置, 支持环幕视野与虚拟现实头盔, 并通过 MQTT 进行车载操作数据同步与记录, 在内外后视镜、后排屏与车窗屏使用关键帧投影, 将虚拟场景中的视野景象投影至对应的屏幕, 增强主测试环境仿真沉浸感。主测试环境的搭建基于以下几个方面的考虑:

(1) 人机工效学: 考虑人体手部操作与视觉范围的不同舒适级别, 合理布置硬件位置;

(2) 多屏联动: 在整体测试实验环境中, 接入仪表盘、中控屏、中后视镜、环屏等多种屏幕, 为驾驶环境提供多通道信息输入;

(3) 电动调节: 电动调节座椅为环境的改变提供便利的操作, 适应多种市场上多种车型的环境测试, 增加在虚拟环境中的力学反馈体验。

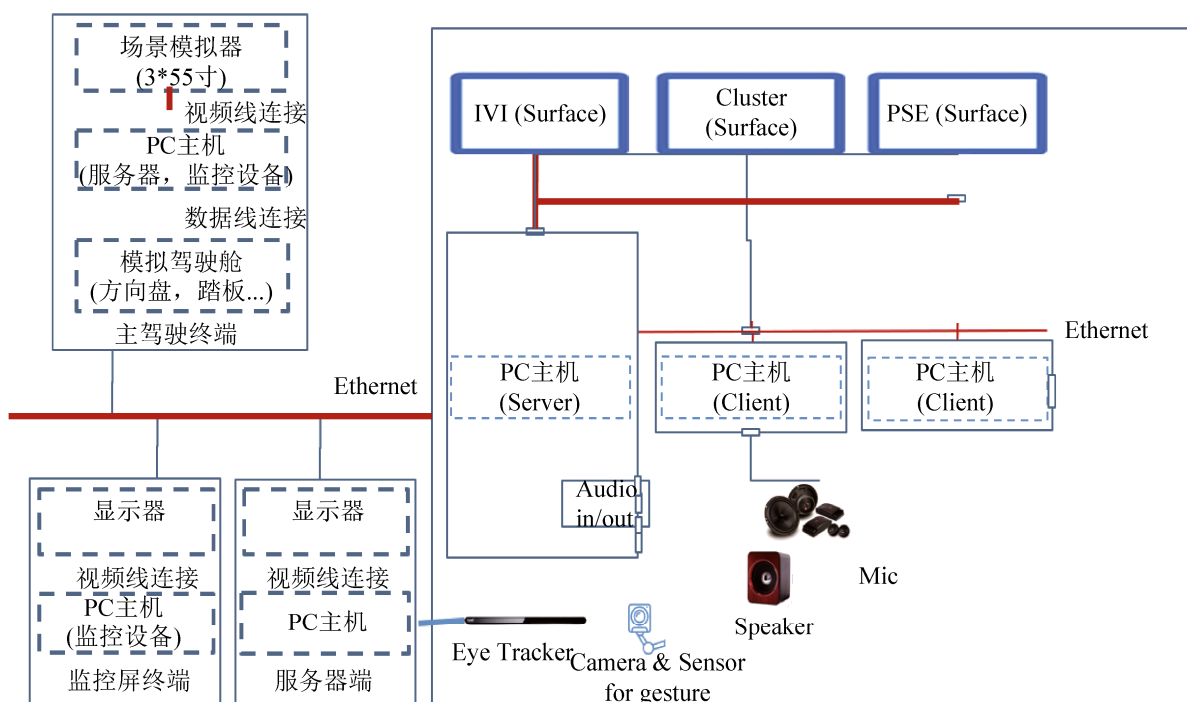
基于以上考量并根据《车辆人机工程学》中的人体数据及实车调研等, 在合适范围内确定中控位置, 制定视野范围和操纵范围的便利级别: 中控高度 710 mm, 中控离方向盘横向距离 390 mm, 水平纵向距离 35 mm, 人眼至中控中心 260 mm。

车载人因仿真系统由场景建模软件、数据交换服务器、副驾驶模拟器、主驾驶模拟器、实验监控软件等构成, 主测试人员的主要视野场景由左右后视镜与挡风玻璃主视野共同构成。整个车载人因仿真系统设备整体架构如图 4(a)所示。整体硬件架构由多台输入输出设备与 PC 主机显示器构成, 包括罗技 G29 人体工学模拟驾驶舱、眼部追踪 Eye Tracker、行为姿态追踪 Kinect、手势姿态模拟 Leap Motion, 整体硬件通过数据交换服务器, 基于局域网/因特网进行数据交换与传输, 测试车辆视野通过三块高清屏幕进行物理逻辑拼接, 分别对应驾驶员左中右 180°视野区域。其整体硬件架构图如图 4(b)所示。

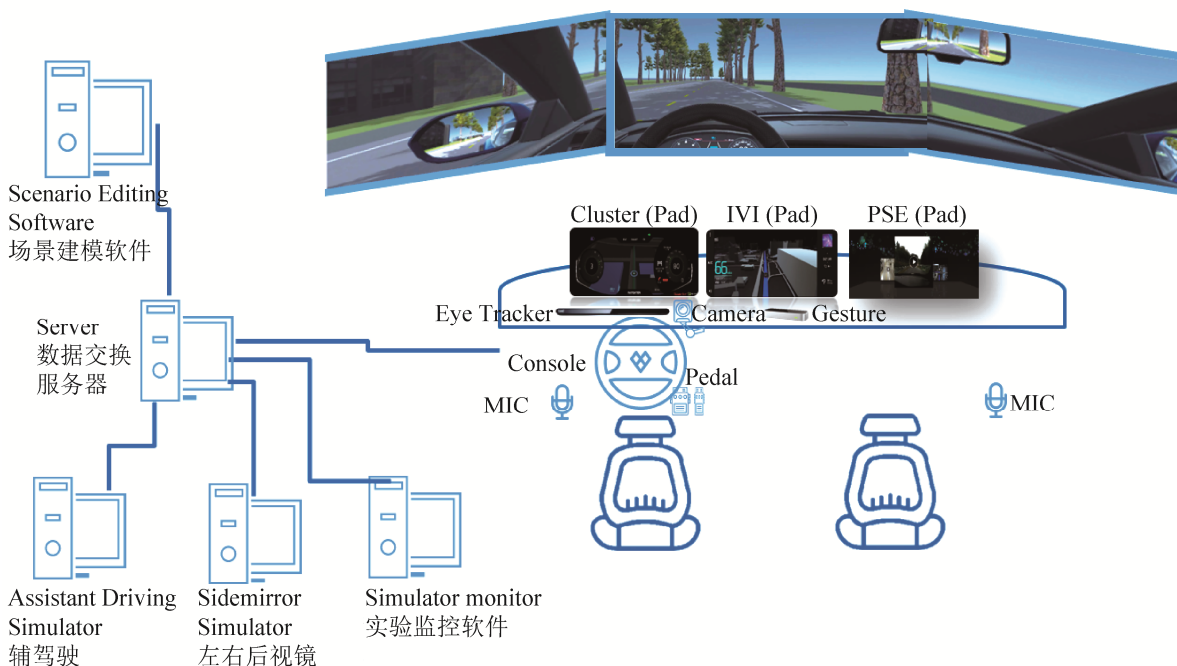
3.2.2 监控子系统软件开发

虚拟驾驶环境建立在 Unity 平台上, 首先用 3D 建模软件进行场景素材建模, 导出 FBX 格式的文件, 将模型制作成预制体后再使用地图场景编辑器将道路模型拼接成完整的道路, 系统可以配置交通参与物(红绿灯、车道线、道路匝道等), 补充周边环境(树木、草坪、房屋等), 修改各种参数(天气、时间、车辆位置、车头方向等), 配置不同天空、天气、道路、设施等。

提供不少于 20 种典型驾驶场景库, 使得测试人员可根据测试任务, 在资源打包程序中进行场景资源灵活配置, 适用于不同测试任务的设计和具体测试计划的实施。



(a) 设备架构图



(b) 分布式架构

图4 硬件架构

Fig. 4 Hardware architecture

通过 3 个独立的 Surface, 分别作为仪表、中控、副驾娱乐屏, 将虚拟仿真图像渲染至多屏显示设备上: 首先, 将世界空间中的图像渲染到以测试用户眼睛为原点的坐标系中, 变化矩阵为

$$\begin{bmatrix} k_x \cos \theta & 0 & k_z \sin \theta & t_x k_x \cos \theta + t_z k_z \sin \theta \\ 0 & k_y & 0 & t_x k_x \\ -k_x \sin \theta & 0 & k_z \cos \theta & -t_x k_x \sin \theta + t_z k_z \cos \theta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: k_x, k_y, k_z 为观察目标的 xyz 三维的缩放尺度; θ 为目标对象绕 y 轴旋转角度; t_x, t_y, t_z 为对应观察目标在世界空间下的平移偏转。

如图 5 所示, 假设当前观察用户视野纵横比为 $aspect$, 其视野锥近截面距离为 $near$, 视野锥远截面距离为 far , 视野锥夹角为 FOV , 可得出观察视野的投影矩阵为

$$\begin{bmatrix} \frac{\cot \frac{FOV}{2}}{aspect} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cot \frac{FOV}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{far + near}{far - near} & \frac{2 \cdot near \cdot far}{far - near} \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

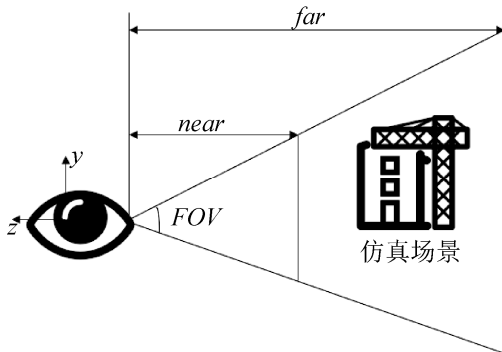


图 5 虚拟仿真视野成像

Fig.5 Virtual simulation field imaging

由此可进一步得到裁剪空间映射到大屏显示的投影变换为

$$\begin{bmatrix} \frac{\cot \frac{FOV}{2}}{aspect} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cot \frac{FOV}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{far + near}{far - near} & \frac{2 \cdot near \cdot far}{far - near} \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \frac{\cot \frac{FOV}{2}}{aspect} \\ y \cot \frac{FOV}{2} \\ -z \frac{far + near}{far - near} - \frac{2 \cdot near \cdot far}{far - near} \\ -z \end{bmatrix} \quad (3)$$

最后进行屏幕映射, 根据目标显示器的大小(划分为环幕显示器、三屏显示器、单屏显示器、虚拟现实头显 4 种)进行齐次除法与屏幕映射:

$$\begin{aligned} screen_x &= \frac{clip_x \cdot pixelWidth}{2 \cdot clip_w} + \frac{pixelWidth}{2} \\ screen_y &= \frac{clip_y \cdot pixelHeight}{2 \cdot clip_w} + \frac{pixelHeight}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $pixelWidth$ 与 $pixelHeight$ 为对应显示器像素分辨率 $clip_w$ 齐次坐标系的 w 分量, 由此可得到虚拟仿真场景在目标显示器上的正确输出。

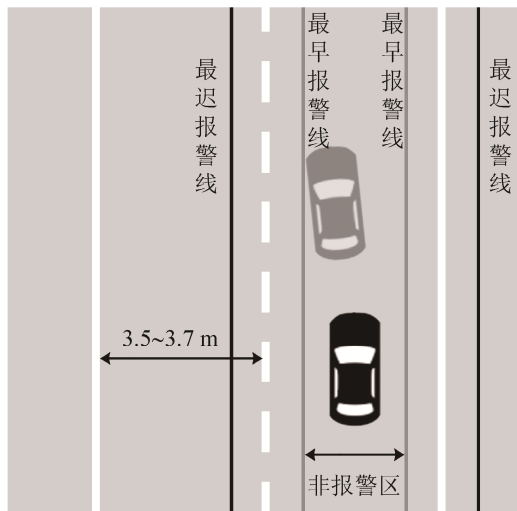
3.2.3 主测/辅测子系统软件开发

先进驾驶辅助系统(advanced driver assistant system, ADAS), 是利用安装于车上各式各样的传感器, 在第一时间收集车内外环境数据, 进行静与动态物体的辨识、侦测与追踪等技术上的处理, 从而能够让驾驶者在最快的时间察觉可能发生的危险, 以引起注意和提高安全性的主动安全技术。

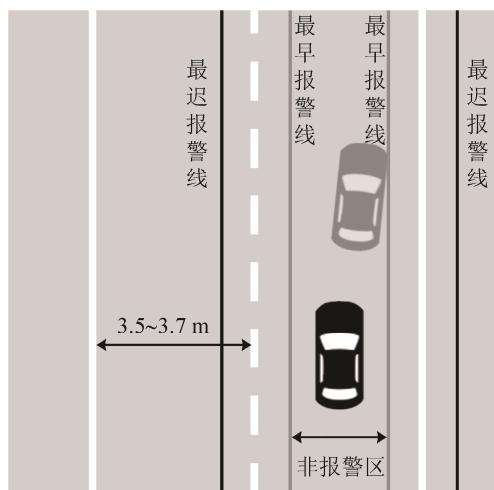
现阶段 ADAS 系统主要包括自适应巡航(adaptive cruise control, ACC)、车道偏移报警系统(lane departure warning system, LDWS)、车道保持系统(lane keep assistance, LKA)、碰撞避免或预碰撞系统(collison avoidance system, CAS)、行人保

护系统(pedestrian protection system, PPS)、交通标志识别(traffic sign recognition, TSR)等。

在现实场景中 ADAS 主要通过各式传感器设备获取传输数据信息,在虚拟场景中,可以直接通过射线检测的方式实现对 ADAS 模块功能的实现。图 6 表明了系统中利用射线检测实现对 ACC 功能与 LDWS 功能的仿真模拟。



(a) 高速公路左偏



(b) 高速公路右偏

图 6 ACC/LDWS 模拟

Fig. 6 ACC/LDWS simulation

LDWS 与 CAS 的实现则主要通过实时进行车辆与道路碰撞器的距离检测,根据不同距离数据而进行不同的偏移警报预警或是在 T 时刻根据 $T-1$ 时刻的道路距离信息进行偏移距离修正等操作。

PPS 与 TSR 等用于识别驾驶过程场景中的行人与交通标志信号灯。通过射线检测进行目标对象识别,模拟真实辅助驾驶系统中基于计算机视觉对行人与交通标志的检测功能实现。根据检测到的目标对象信息进行不同处理:当监测到的目标对象为行人,则降低目前自身的运行时速直至目标对象离开监测区域;当监测对象为交通信号灯,则根据当前交通信号灯的指令进行相应操作。夜视系统(night view, NV)与自适应灯光控制(auto light control, ALC)通过时间控制算法进行控制,当选择夜晚的天气系统任务下,平台内置的天气系统将自动降低环境可见光。

视角记录使用 FFMPEG (fast forward moving picture expert group)与自定义快捷键方式,实现对部分关键时段/序列帧数据与图像资料的导出与展示记录,并使用表格的形式展示该系统任务下的各个系统任务,并支持表格到折线图信息的转换与关键数据信息(均值,最值,方差)等数据的计算与支持。在埋点数据展示模块,以表格形式展示其他终端通过 JSON 字符串传输过来的关键数据信息,实现监控子系统与其他终端系统的耦合分离。

3.2.4 触摸终端子系统软件实现

协同系统在地域上可以是分散的。不同地域通过搭建不同的云数据交换服务器,依托于中央云服务器可以实现位于不同地域、不同操作系统的触控子系统终端,服务于同一个实验项目。用户可以使用不同的触控终端子系统加入同一个测试样例之中。使用 MQTT 协议通过 MD5 加密的方式进行终端画面信息的传输。根据不同形式的 Topic 数据进行收发操作,不同终端均可通过 MQTT 协议框架发送自己的数据信息到监控屏子程序。结构化数据以 JSON 形式提供,非结构化数据以原始字节数组形式提供,最终由监控屏子程序收集并记录。

4 仿真实验及结果分析

为了验证协同仿真平台的有效性,本文使用

阿里云平台, 搭建 vsftpd ftp 文件传输服务器与 ActiveMQ MQTT 服务器, 于上海和广州分别搭建 2 套系统仿真实验室, 使用 surface book 作为第三方触控终端, 构建车载人因协同仿真系统。

仿真过程包括加载地图生成与地图包分发, 测试用户与测试任务的创建与分析, 埋点数据记录, 视角分析与关键帧捕捉, 测试任务图表分析等。具体流程如图 7 所示。为了验证本系统的实用性, 选择多人共驾智能汽车虚拟仿真测试硬件

环境, 以服务器为中心进行搭建, 各系统模块数据通过服务器进行中转、交换。

4.1 仿真系统比较

为从车载仿真模拟者的角度去客观地评价不同仿真平台之间的差异, 本文基于 Alexander^[20], Craighead^[21], Michael^[22]等工作从逼真度、可扩展性、开发难度、数据采集量、耦合度和网络化 6 个方面进行比较, 比较结果如表 1 所示。

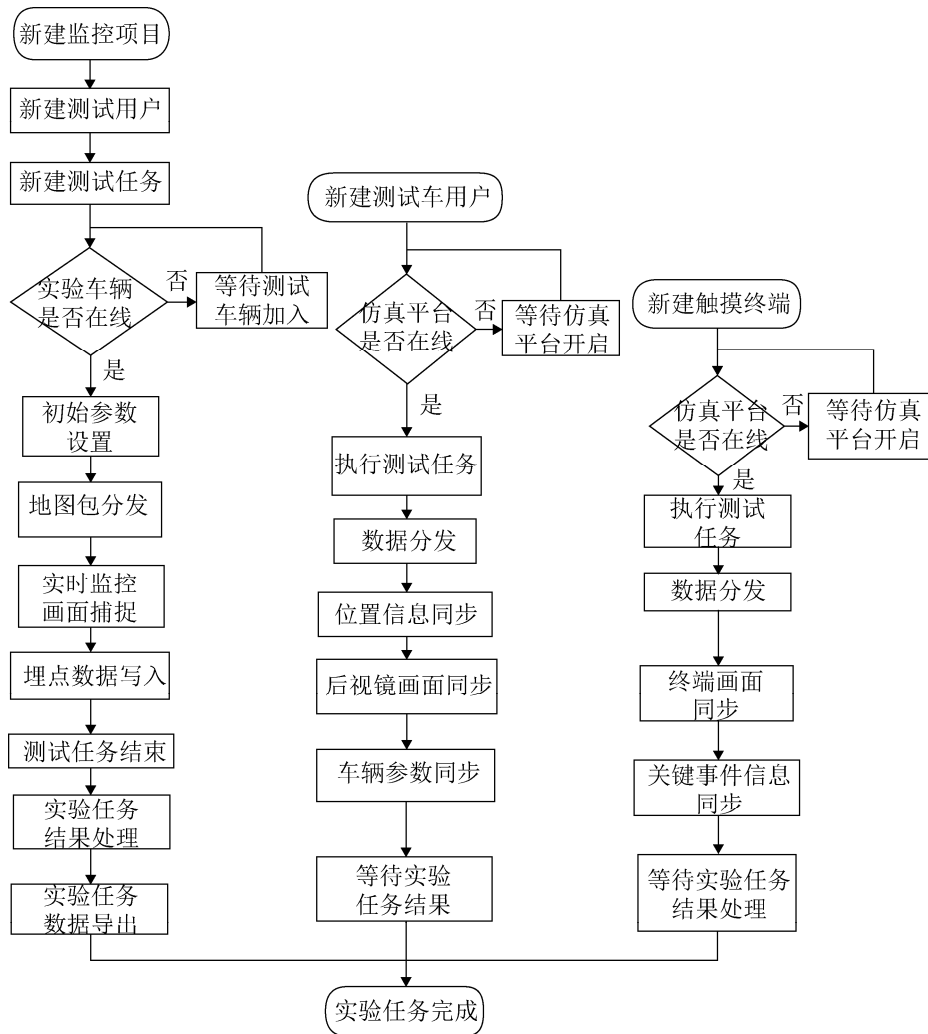


图 7 系统仿真流程图

Fig. 7 System simulation flow chart

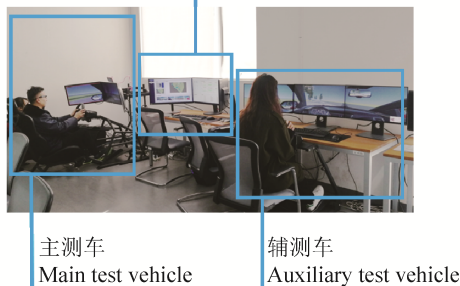
表 1 各车载人因平台比较
Table 1 Comparison of various platform

车载人因平台	逼真度	可扩展性	开发难度	采集数据量	耦合度	网络化
CARRS-Q	高	中	高	高	中	部分支持
BAN	高	中	高	中	中	不支持
VIRT TEX	中	中	中	高	高	不支持
PANOSIM-RT	高	高	高	中	高	不支持
DSPACE	中	中	高	高	中	不支持
(本文)UXLAB	高	高	高	高	低	支持

4.2 仿真系统展示

图 8 展示了整个车载人因协同仿真系统的仿真硬件测试环境。

数据采集与监视控制系统
(Supervisory Control And Data Acquisition system, SCADA)



(a) 多人共驾智能汽车虚拟仿真硬件环境



(b) 仿真测试环境的环幕系统



(c) 虚拟现实模拟

图 8 协同仿真平台

Fig. 8 Co-simulation platform

4.3 案例分析：非驾驶任务与驾驶任务切换

研究自动驾驶模式状态下，电子阅读和语音聊天状态下的驾驶任务切换，如图 9 所示。



(a) 实车环境下的电子阅读与语音聊天状态



(b) 虚拟仿真测试环境下的电子阅读与语音聊天状态



图 9 驾驶任务切换测试

Fig. 9 Driving task switching test

对 6 位实验参与者进行电子阅读状态接管分析, 分别检测在电子阅读状态下和语音聊天状态下进行驾驶任务切换的时间耗时, 具体如表 2 和图 10 所示。

表 2 驾驶任务切换实验情况统计
Table 2 Statistics of driving task switching experiments /s

序号	实车 耗时	仿真 耗时	序号	实车 耗时	仿真 耗时
1	4.89	4.22	10	5.31	5.23
2	3.76	4.35	11	6.13	6.21
3	4.12	3.89	12	5.34	5.47
4	3.89	3.97	13	5.21	5.12
5	4.23	4.21	14	5.14	5.03
6	3.97	3.98	15	5.63	5.52
7	5.23	5.43	16	5.51	5.43
8	4.61	5.67	17	4.98	5.64
9	4.75	4.98	18	5.05	4.98

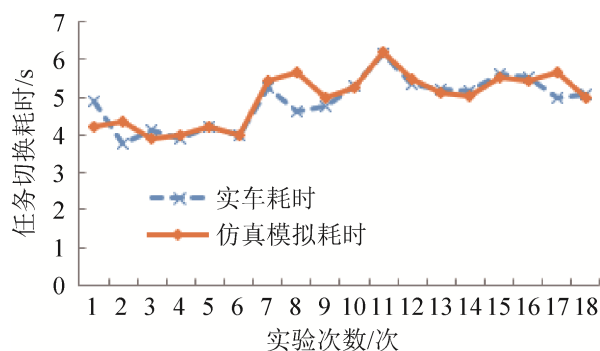


图 10 驾驶任务切换仿真

Fig10 Driving task switching simulation

5 结论

构建的车载人因仿真协同平台降低了参与实验子系统与主系统的耦合性, 具有良好的鲁棒性和灵活性。基于订阅发布模式的数据处理机制提升了多终端子系统埋点数据采集与数据处理的扩展能力。通过对非驾驶任务与驾驶任务的切换案例进行仿真测试分析, 得到了与真实车辆环境中相同的结果, 验证了仿真测试的可行性。通过与不同车载人因平台的对比, 验证了本系统在逼真度、解耦合、数据采集和网络化支持的优势。本系统可扩展以支持更多的车辆子系统和其他终端设备的仿真研究。

参考文献:

- [1] 刘东波, 缪小冬, 王长君, 等. 汽车驾驶模拟器及其关键技术研究现状[J]. 公路与汽运, 2010, 32(5): 53-59. Liu Dongbo, Miu Xiaodong, Wang Changjun, et al. Research Status of Automobile Driving Simulator and Its Key Technology[J]. Highways & Automotive Applications, 2010, 32(5): 53-59.
- [2] 孙显营, 熊坚. 车辆驾驶模拟器的发展综述[J]. 交通科技, 2001, 5(6): 48-50. Sun Xianying, Xiong Jian. Overview of the Development of Vehicle Driving Simulator[J]. Transportation Science & Technology, 2001, 5(6): 48-50.
- [3] 田顺, 谷亚蒙, 魏朗, 等. 驾驶模拟器的发展历程及最新应用实例[J]. 汽车技术, 2018, 3(4): 35-42. Tian Shun, Gu Yameng, Wei Lang, et al. The Development of Driving Simulator and the La-test Application of Technology[J]. Automobile Technology, 2018, 3(4): 35-42.
- [4] 郭应时, 王畅, 付锐, 等. 城市道路环境中驾驶人应激响应时间特性[J]. 中国公路学报, 2013, 26(6): 135-142. Guo Yingshi, Wang Chang, Fu Rui, et al. Driver's Reaction Time Under City Road Conditions[J]. China Journal of Highway & Transport, 2013, 26(6): 135-142.
- [5] 向往, 闫学东, 王江锋. 驾驶模拟器在驾驶行为和心理学影响因素研究方面的应用[J]. 山东科学, 2013, 26(6): 69-76. Xiang Wang, Yan Xuedong, Wang Jiangfeng. Applications of a Driving Simulator in Influential Factors of Driving Behavior and Psychology[J]. Shandong Science, 2013, 26(6): 69-76.
- [6] 邹湘军, 孙健, 何汉武, 等. 虚拟现实技术的演变发展与展望[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(9): 1905-1909. Zou Xiangjun, Sun Jian, He Hanwu, et al. The Development and Prospects of Virtual Reality[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(9): 1905-1909.
- [7] Bellem H, Thiel B, Schrauf M, et al. Comfort in Automated Driving: An Analysis of Preferences for Different Automated Driving styles and Their Dependence on Personality Traits[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior (S1369-8478), 2018, 55(1): 90-100.
- [8] Gumenuik P O, Tokarchuk V V, Lysenko R I. Software and hardware to control a car model based on dSpace controller[C]//International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Piscataway, NJ: IEEE, 2012: 115.

- [9] Pereira J L F, Rossetti R J F. An integrated architecture for autonomous vehicles simulation[C]//27th annual ACM symposium on applied computing. New York, NY: ACM, 2012: 286-292.
- [10] Mazharul Haque, Simon Washington. A Parametric Duration Model of the Reaction Times of Drivers Distracted by Mobile Phone Conversations[J]. Accident; Analysis and Prevention(S0001-4575), 2014, 62(3): 42-53.
- [11] S Helman, N Reed. Validation of the Driver Behaviour Questionnaire Using Behavioural Data from an Instrumented Vehicle and High-Fidelity Driving Simulator[J]. Accident Analysis and Prevention (S0001-4575), 2015, 75(2): 245-251.
- [12] Melman T, Winter J, Abbink D. Does Haptic Steering Guidance Instigate Speeding? A Driving Simulator Study into Causes and Remedies[J]. Accident Analysis & Prevention(S0001-4575), 2017, 98(3): 372-387.
- [13] Bellem H, Thiel B, Schrauf M, et al. Comfort in Automated Driving: An Analysis of Preferences for Different Automated Driving Styles and Their Dependence on Personality Traits[J]. Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour (S1369-8478), 2018, 55(3): 90-100.
- [14] 魏春雨, 周晓军, 魏燕定, 等. 汽车驾驶模拟器转向盘能量反馈调节[J]. 浙江大学学报(工学版), 2013, 47(2): 244-248.
Wei Chunyu, Zhou Xiaojun, Wei Yanding, et al. Energy Feedback Regulation of Automotive Driving Simulator Steering Wheel[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2013, 47(2): 244-248.
- [15] 张文会, 李鹏辉, 胡孟夏, 等. 高速公路驾驶人超车过程视觉行为特性[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014, 54(9): 1204-1208.
Zhang Wenhui, Li Penghui, Hu Mengxia, et al. Driver's Visual Behavior Characteristics During Overtaking on a Freeway[J]. Tsinghua University (Sci & Technol), 2014, 54(9): 1204-1208.
- [16] 李鹏辉, 胡孟夏, 张文会, 等. 分心对驾驶人交通冲突反应时间的影响[J]. 中国公路学报, 2018, 31(4): 36-41.
Li Penghui, Hu Mengxia, Zhang Wenhui, et al. Influence of Distraction on Driver's Reaction Time to Traffic Conflicts[J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31(4): 36-41.
- [17] 管欣, 洪峰, 贾鑫, 等. 汽车驾驶器视觉系统传输延迟补偿[J]. 吉林大学学报(工学版), 2017, 47(1): 28-34.
Guan Xin, Hong Feng, Jia Xin, et al. Compensation for Transport Delay of Vision System in Driving Simulator[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2017, 47(1): 28-34.
- [18] 陈亮, 熊坚, 郭凤香, 等. 基于视觉及认知的驾驶模拟器图像标定方法[J]. 中国公路学报, 2017, 30(1): 129-135.
Chen Liang, Xiong Jian, Guo Fengxiang, et al. Image Calibration Method of Driving Simulator Based on Vision and Cognition[J]. China Journal of Highway and Transport, 2017, 30(1): 129-135.
- [19] 王振宇, 李鑫. 基于人机工程学的电动汽车模拟驾驶舱设计[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2018, 32(11): 22-28.
Wang Zhenyu, Li Xin. Design of Electric Car Simulation Cockpit[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2018, 32(11): 22-28.
- [20] J Taylor, A Maitra, M Alexander, et al. Evaluations of Plug-in Electric Vehicle Distribution System Impacts[J]. IEEE PES General Meeting(S1944-9933), 2010, 10(1109): 1-6.
- [21] Craighead I A, Loo Y W, Storey A, et al. Validation Tests on Computer Simulation Programs Modelling off-Road Vehicles[J]. Journal of Terramechanics(S0022-4898), 1986, 23(1): 13-22.
- [22] Matthew Barth, Michael Todd. Simulation Model Performance Analysis of a Multiple Station Shared Vehicle System[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies(S0968-090X). 1999, 7(14): 237-259.