

计算机技术在移动式VR游戏房车中的应用基础与场景适配

郭品含¹, 朱 菲², 曾庆鑫^{2*}

1. 江苏师范大学江苏圣理工学院, 江苏徐州, 221116

2. 江苏师范大学物理与光电工程学院, 江苏徐州, 221116

摘 要 | 面向驻车式、多用户、持续运营的移动式VR游戏房车, 本文采用叙述性综述, 区分车辆/移动VR直接或近似证据、普通VR及相邻领域证据与作者场景推断, 梳理实时渲染、空间定位、内容部署、多人同步、云边端协同及运维管理的技术基础、场景适配条件与迁移路径。本文关注相关计算机技术向房车场景迁移的依据与适用边界, 而非汇总已经成熟运行的实车案例。综合现有研究, 注视点渲染、无线终端、定位融合与日志分析可提供候选技术基础, 但方案选择取决于计算负载、供电散热、网络稳定性、空间边界及设备周转条件。基于证据与车辆约束, 本文提出本地或远程渲染、inside-out或外部参考定位、本地核心会话与云端扩展服务等条件式技术路线, 并给出涵盖分级并发、不同驻车站点、运输前后恢复、核心性能指标和长期运行日志的未来实车验证框架。

关键词 | 移动式VR游戏房车; 虚拟现实; 实时渲染; 空间定位; 云边端协同; 智能运维

Copyright © 2026 by the author(s).

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

虚拟现实 (virtual reality, VR) 通过立体显示、运动跟踪和实时反馈构建沉浸环境。将相关终端、计算与内容系统集成到车辆, 可为分散点位提供服务, 但运输、有限空间、供电散热和站点网络差异也改变了部署条件。COMS-VR以电动车作为运动平台构建VR娱乐原型^[1], 与本文讨论的驻车式、多用户服务在运行方式上存在明显差异, 只能作为近似证据。

本文采用叙述性综述, 对2016—2025年的30篇代表性文献进行主题归纳, 并比较研究对象、方法、结果及适用边界。证据分为三个层级: 一级为车辆/移动VR直接或近似证据, 本文纳入的文献^[1]属于其中的近似证据; 二级为普通VR及相邻领域研究; 三级为作者结合场景约束形成的推断。该分层表示场景相关性, 不代表方法学质量排序, 三级推断也不构成新增实证证据。受文献范围及研究异质性限制, 本文不进行合并效应量分析。

基于上述证据分层, 本文从计算机系统集成视角梳理车辆VR及相关技术研究, 重点讨论技术向移

作者简介: 郭品含, 江苏师范大学江苏圣理工学院, 本科; 朱菲, 江苏师范大学物理与光电工程学院, 本科; 曾庆鑫 (通讯作者), 江苏师范大学物理与光电工程学院副教授、硕士生导师, 研究方向为高压下材料的反常压缩性质研究、凝聚态物理。

文章引用: 郭品含, 朱菲, 曾庆鑫. 计算机技术在移动式VR游戏房车中的应用基础与场景适配[J]. 计算机与智能教育技术, 2026, 1(2): 56-65.

<https://doi.org/10.68070/t2j39c95>

动式VR游戏房车迁移时的适用条件、候选路线和验证指标。涉及房车的技术选择均结合有限空间、供电散热、站点网络和设备周转等约束提出，用于形成场景适配判断与后续实车评价依据。

2 概念、系统组成与技术架构

2.1 工作性定义

本文将移动式VR游戏房车定义为：以可移动或可展开车辆为载体，在车内或与车辆相连的受控区域部署VR游戏终端、计算存储、定位交互、网络及管理系统，通过跨站点驻车提供沉浸式游戏服务的平台。该定义用于限定综述对象，不代表统一行业标准。文旅、展陈和教育可以构成内容主题，核心仍是游戏运行、玩家组织与设备周转。

本文讨论可靠驻停状态下的体验，不涵盖行驶中自由活动或驾驶员使用VR。评价对象既包括画面、定位和交互，也包括驻车恢复、多人会话、有效体验时长和设备在线率；单项技术性能不能代表整车服务能力。

2.2 系统组成与分层架构

系统由显示终端、计算存储、感知交互、游戏软件与内容、网络云服务及运营保障六类模块组成。图1在保留用户与游戏交互、感知定位与安全、计算渲染、游戏引擎与内容、网络云边服务、运维运营管理六层结构的基础上，进一步标示三类关系：玩家动作经感知定位、游戏逻辑和渲染计算返回头显显示的核心数据流；运营管理经设备配置、内容版本和游戏会话作用于设备状态的控制流；运行状态、故障及版本日志向本地或云端日志系统汇集的数据流。

图1还表示车辆环境约束向技术层传播的故障依赖：运输与驻车恢复影响定位基准和设备连接，供电与散热约束计算性能及持续运行，站点网络变化影响云服务和多人同步，设备或网络异常可能引起会话中断和在线率下降。相比固定VR场所，房车还需处理跨站运输后的快速恢复、站点条件变化及多用户高周转；图中控制关系仅用于方案分析，不表示已建立自动控制系统。

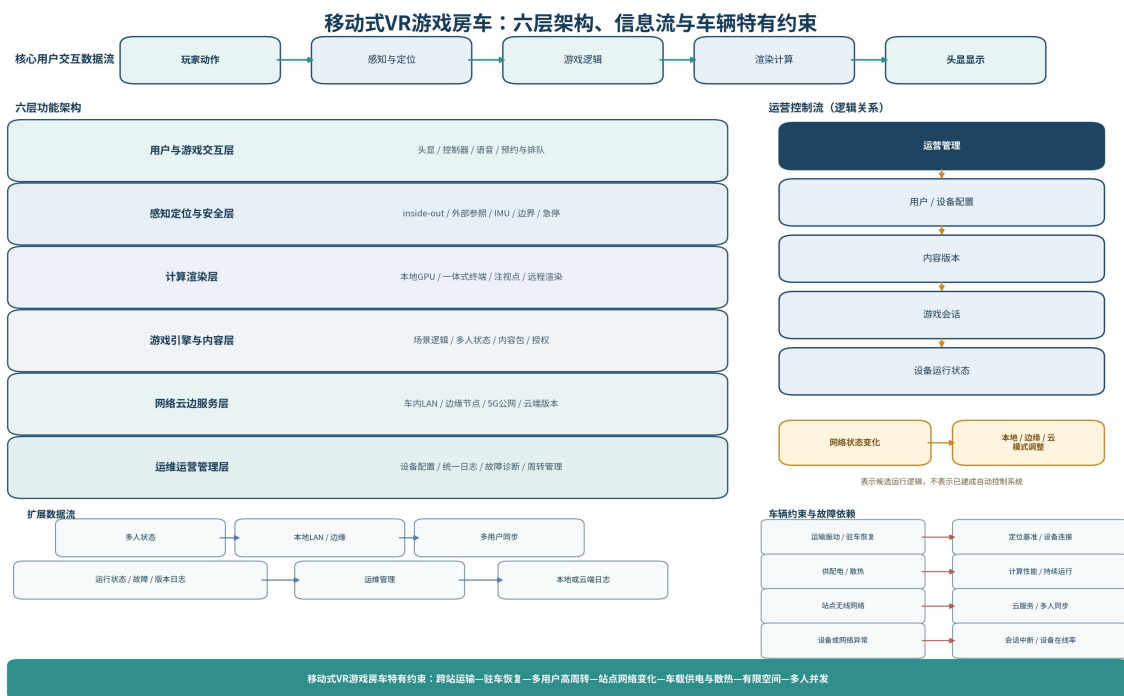


图1 移动式 VR 游戏房车六层架构、信息流与车辆特有约束

注：本图为作者对相关技术、信息关系和场景约束的概念性整理，不代表已建成或实测的系统。

3 关键计算机技术应用进展

3.1 图形计算与实时渲染

普通VR中的本地GPU、一体式头显、注视点渲染和远程渲染构成并存的技术路线^[2]。前两者涉及

计算位置和终端形态，注视点渲染属于资源分配方法，可以与本地或远程渲染结合，不能将其视为相互排斥的终端类型。

Patney等通过感知实验和渲染系统评估研究外围图像质量与计算负载的关系^[3]；Mohanto等从感知、显示与实现方法梳理注视点渲染^[4]。Liu等则采用渲染、编码、传输和解码流水线，在60 GHz无线

平台验证远程渲染^[5]。后者的结果依赖特定无线链路，不能直接推广到任意公网连接。

这些研究共同关注画质与处理时延的权衡，但测量对象分别涉及感知质量、着色负载和端到端传输，性能收益不能直接横向相加。VR不适综述还指出，体验受显示、运动和个体因素共同影响^[6-7]，平均帧率不足以单独解释舒适性。

结合房车运行条件，内容计算量较高且车辆供电、散热较稳定时，本地GPU渲染可作为主要候选；强调减少布线、快速部署和设备周转时，可优先评价一体式头显，同时关注电池、热管理与持续性能。网络稳定且端到端时延可控时，远程渲染可作为降低终端计算负担的候选方案；注视点渲染并非独立终端路线，可与本地或远程渲染结合。上述选择仍需通过帧时间、运动到光子延迟、温度、功耗和降频等指标评价。

3.2 空间定位、动作捕捉与边界安全

由设备自身传感器感知环境的inside-out（由内向外定位）与由外部相机观测设备的outside-in（由外向内定位）各有部署条件。前者减少外部设施依赖，后者依赖外部观测覆盖；混合定位尝试结合多种参照。ORB-SLAM3提供视觉、视觉—惯性及多地图处理方法^[8]，但算法评测不等于特定头显或整车定位评测。

Monica和Aleotti以OptiTrack为参照，在房间尺度VR轨迹中测得Oculus Rift S平均平移误差约1.83 cm、旋转误差约0.77°^[9]。Holzwarth等比较SteamVR Tracking 2.0与Oculus Quest 2，发现Quest 2在被测对象高度测量中的准确度更高^[10]。该结果针对具体装置和任务，不能概括为所有inside-out方案均优于其他定位方式。

两项研究均说明性能与测量条件相关，但参照系统和测试任务不同，不能用单个平均误差建立通用排序。基站式SteamVR与外部相机式outside-in的测量机制也有区别。自然步行综述讨论了活动空间与移动交互的关系^[11]，并未确定房车可容纳的安全步行范围。

对于需要快速到场部署并减少外部设备的场景，可优先评价inside-out；若展开区域相对固定、可安装外部参照且遮挡可控，outside-in或外部参考定位可作为候选。房车定位评价的重点不应仅是静态精度，还应包括运输前后基准复测、重新定位与快速恢复。混合定位或车辆固定基准可作为待验证方案，其适用性可由定位丢失、重定位时间、运输前后漂移和多人边界异常共同判断。

3.3 游戏引擎、内容部署与版本治理

游戏引擎整合场景、物理、音频、输入和多人

逻辑。持续服务还涉及运行时、资源包、设备配置与授权之间的兼容性；内容能够启动与内容能够跨设备持续维护是不同问题。

Suen等通过访谈、现场访问及资料分析研究高校图书馆VR服务部署，识别了技术能力、空间和预算约束^[12]。该研究可为房车内容服务的组织条件提供参照，但不用于推定具体版本发布或回滚机制的效果。

针对跨站运行，网络稳定时可采用云端统一内容与版本管理；网络不稳定或存在离线运行需求时，应优先关注本地缓存、版本清单、授权状态记录及可恢复机制。两类路线可按站点网络和内容更新频率组合，不预设单一路线普遍适用。

版本治理应重点评价设备与内容兼容性、发布失败率、恢复时间、离线授权成功率及停机时间，而非笼统以“数字化部署”概括效果。上述内容属于基于房车约束提出的工程候选路径，具体响应归并于附表A1。

3.4 局域网、多人同步与云边端协同

联网VR研究将计算卸载、缓存、编码和无线资源作为关联问题讨论^[13-14]。这些工作提供低时延服务的机制与架构分析，并不直接给出移动式VR游戏房车的并发容量。

Zhao等通过云服务器、商用头显和Wi-Fi路由器构建测试平台，分析不同游戏及固定、适应性编码下的流量和时延^[15]。Peñaherrera-Pulla等在工业实验场地比较5G SA与Wi-Fi 6：5G的下行时延和吞吐稳定性较好，而Wi-Fi在采用TCP的上行控制链路中通常时延更低^[16]。Korneev等将实测流量特征用于云VR建模与性能分析^[17]。

这些结果支持按端到端链路分析性能，不能简化为“有5G覆盖即可保障多人体验”。流量模型、工业无线测试与多人状态同步的评价对象并不相同，其用户配置、编码策略和无线条件也不一致，现有结果不宜直接换算为房车可同时服务的人数。

结合驻车式、多用户运行约束，可将“本地网络保证核心会话，外部网络承担扩展服务”作为条件式架构思路：多人实时状态同步优先评价车内局域网或边缘节点的稳定性，5G或公网主要承担内容更新、云端服务和远程管理。站点网络较差时，应进一步评价本地核心会话能否维持以及断网后的恢复能力；网络方案以同步偏差、掉线率、恢复时间和模式切换时间评价，不能以“具有5G覆盖”替代端到端性能判断。

3.5 设备监测与智能运维

设备运维可按证据和数据成熟度分为三个阶段：第一阶段记录当前状态，第二阶段通过日志关

联开展故障诊断，第三阶段在积累足够长期故障样本后再评价预测维护。数字孪生属于更高模型要求的技术路径，不宜仅因系统具备监控界面或日志记录便作成熟度判断。

Quintana等研究VR康复练习的远程配置和监控^[18]；Lei等归纳机器学习故障诊断方法^[19]；van Dinter等综述数字孪生支持预测维护的研究^[20]。这些文献分别提供远程管理、数据诊断和模型维护的方法依据，适用对象与所需数据条件并不相同。

对当前房车场景，更现实的起点是统一记录CPU/GPU温度、设备在线状态、网络状态、应用版本、异常重启及故障事件，并以设备、会话和时间标识进行关联，用于定位过热、断连、版本不一致等常见异常。

在形成跨站点、跨设备的长期故障样本后，可进一步评价预测维护是否具有增量价值。现阶段宜以日志完整率、误报、漏报、平均恢复时间和设备在线率作为主要指标，避免由相邻领域的数字孪生研究直接推定房车预测维护效果。

3.6 玩家管理与数字化运营

玩家管理涉及预约排队、内容和设备分配、体验计时及异常记录。对移动式VR游戏房车而言，设备可用性与玩家会话之间的关联可能影响等待和周转，但目前纳入文献未直接评价其运营管理效果。

Miller等在360° VR视频观看情境中分析运动跟踪数据的个人可识别性^[21]。该研究表明，即使没有专门设计的身份识别动作，跟踪数据也可能包含可用于区分个人的信息，属于普通VR中的隐私风险证据。

这种可识别性不等同于特定房车已发生隐私泄露，也不能推导出所有头显、内容和用户群具有相同风险。服务统计与原始姿态数据用途不同，去除姓名也不必然消除行为数据的识别风险。

房车运营管理可围绕玩家会话、设备编号、游戏内容、使用时长、异常事件和设备周转建立关联。对运动轨迹等可能识别个人的数据，宜采用最少必要采集、汇总统计和权限控制，并避免无必要长期保存原始姿态数据。上述治理方式应结合实际数据流和运营需求评价；表1进一步汇总各环节的适用条件、候选路线与验证缺口。

表1 关键技术证据、房车适用条件、候选路线与待验证问题

技术环节	现有文献证据及证据层级	房车适用条件与候选技术路线	证据缺口/实车待验证指标
渲染终端	注视点感知实验、综述与远程渲染系统 ^[2-5] ；二级	供电散热较稳定且计算量较高时可优先评价本地 GPU；强调快速部署和减少布线时可考虑一体式终端；网络稳定且端到端时延可控时可进一步评价远程渲染，注视点渲染可与上述路线结合。	热环境与持续供电未覆盖；帧时间、运动到光子延迟、GPU 温度、功耗、降频及运行稳定性
定位与边界	SLAM 算法及房间尺度定位比较 ^[8-11] ；二级	快速部署场景可优先评价 inside-out；具备稳定展开区、外部参照且遮挡可控时可评价 outside-in 或混合定位；跨站运输后重点验证基准复测与快速恢复。	运输与展开结构未覆盖；定位误差、丢失次数、重定位时间、基准漂移、边界异常
内容部署	两所高校图书馆的访谈、访问与资料分析 ^[12] ；二级	稳定网络下可采用云端统一版本管理；弱网或离线场景重点评价本地缓存、版本清单、授权状态记录和可恢复机制。	跨站点版本治理缺少直接对照；兼容性、发布失败率、恢复时间、离线授权成功率及停机时间
多人网络	架构研究、云 VR 流量测试、5G 比较及建模 ^[13-17] ；二级	核心多人会话优先评价本地 LAN 或边缘节点；5G 或公网承担内容更新、云服务和远程管理，并验证弱网降级及断网恢复。	未确定车辆额定容量；分级并发下 RTT、抖动、丢包、同步偏差、掉线率、断网恢复及模式切换时间
状态运维	VR 康复监控、机械故障诊断和数字孪生综述 ^[18-20] ；二级	短期以统一记录温度、在线状态、网络、版本、异常重启和故障事件，并开展日志关联诊断为主；积累长期故障样本后再评价预测维护。	缺房车故障样本；日志完整率、误报、漏报、平均恢复时间、在线率及跨车适用性
玩家与数据管理	普通 VR 跟踪数据识别实验 ^[21] ；二级	运营数据以设备—会话—内容—时长—异常—周转关联为主；对运动轨迹实施最少必要采集、汇总统计和访问控制。	实际采集范围、保存期限、访问记录、识别风险、等待与设备周转时间
移动娱乐载体	COMS-VR 电动车运动平台原型 ^[1] ；一级近似	现有车辆 VR 仅提供近似证据；驻车式多人房车宜按分级并发、跨站运输及长期运行逐步验证。	有效体验时长、在线率、吞吐、运输后恢复、成本及长期稳定性

注：第三列为基于现有证据与房车约束形成的三级场景推断，所列路线均为条件式候选方案，不代表已完成实车验证。一级/二级表示场景相关性；资料来源：作者根据所列文献整理。

4 典型应用场景

4.1 数字文旅与景区服务

本章所列文旅、娱乐、展陈和科普教育主要用于说明可能的内容与服务需求，不作为移动式VR游戏房车已实现相应应用效果的直接证据。文化遗产及旅游研究梳理了虚拟重建、展示和旅游体验的内容形态^[22-25]。对分散景点而言，移动载体可作为候选服务方式，其适用性取决于站点准备、客流、网络与成本条件。

4.2 商业娱乐

COMS-VR提供车辆与VR娱乐结合的近似证据^[11]，渲染和网络研究支持部分技术机制^[2-5,13-17]。面向商业娱乐，主题轮换和多人游戏可作为候选内容组织方式，仍需通过吞吐、重复体验、人员投入、设备周转和成本等实车记录评价。

4.3 展陈与公共活动

图书馆部署和文化遗产研究支持VR的互动展示

用途，并揭示空间与技术能力约束^[12,22]。房车可作为巡展和临时活动的候选内容载体，评价重点包括跨站到场恢复、临时网络、高峰周转、可用设备数量和有效服务记录。

4.4 科普与教育

教育VR综述强调设计要素、课程整合、量化学习结果及研究设计一致性^[26-28]。巡回科普与分散学校存在服务场景关联，但内容适龄性、学习增益和延迟保持效果仍应在房车条件下独立评价。

5 应用特点与潜在价值

与固定VR场馆相比，移动式VR游戏房车的主要特点是服务位置可迁移、硬件随车复用和内容按站点调整。这些特点可能减少短期活动对永久场所的依赖，但“可移动”不等同于“低成本”或“高效果”。车辆购置与改装、运输、驻车、供电空调、授权和人员投入均可能影响总体收益。

表2是基于场景约束的定性比较。潜在价值取决于运输距离、客流、内容及运行周期，尚缺统一口径的实车与固定场馆对照证据。

表2 固定 VR 场馆与移动式 VR 游戏房车的定性比较

比较维度	固定 VR 场馆	移动式 VR 游戏房车
部署与服务	服务地点相对固定	跨站点迁移，存在到场恢复过程
空间与边界	环境通常较稳定，受具体场地制约	舱体、台阶和展开区增加空间约束
计算与环境	供电散热条件可长期优化	持续算力受车载供电、散热和噪声限制
网络与内容	网络条件相对稳定	外部网络和接入条件随站点变化
维护重点	固定环境中的设备和服务维护	叠加运输、重定位和驻车恢复问题
潜在适用条件	客流相对稳定、长期使用	短周期、分散点位和巡回服务

注：两列为典型约束的概括，不表示任何一类场景在成本、性能或效果上普遍更优。资料来源：作者基于场景差异整理。

6 主要问题与约束

6.1 运输振动、驻车与重新标定

运输可能改变支架、线缆和定位基准，驻车后的舱门、座椅或展开结构变化也可能改变地图参照。房间尺度定位试验^[9-10]未评价这类累积变化，因此单次定位精度不能代表运输后的可恢复性。

6.2 供配电、散热与消防

计算设备、显示与空调的并行运行可能形成集中功率和热负载，使短时性能与持续性能出现差异。现有渲染文献不能证明整车供配电和消防安全。相关判断涉及具体车辆及场地条件，本文不据普通VR研究作合规结论。

6.3 空间碰撞、共享卫生与儿童使用

狭窄活动区域叠加多人动作可能放大边界冲突；VR不适还受内容、暴露时长和个体差异影响^[6-7]。Roberts等采用体外接种试验和调查比较VR设备消毒情况，显示材料表面对消毒效果存在影响^[29]，但不能由此推定房车中的感染风险或长期材料兼容性。儿童使用同样缺少本场景的适龄和持续暴露证据。

6.4 弱网与数据隐私

站点间的链路、干扰与负载变化可能改变网络研究中的性能关系^[13-17]。断网同时影响会话、授权及日志完整性。另一方面，运行分析所用运动数据可能具有个人可识别性^[21]；系统是否存在实际风险取决于采集内容、数据流和访问条件，不能仅凭

场景名称判断。

6.5 内容供给与运行组织

内容授权、设备兼容和多人组队可能共同影响服务能力。单设备故障对整组会话的影响属于合理场景推断，尚缺房车记录验证。运输检查、供电分级、网络预检、备用设备、卫生记录及故障处理等响应统一列于附表A1，不作为已证明有效的措施。

7 发展趋势

7.1 无线轻量终端与混合渲染

注视点渲染及远程渲染研究支持按感知与链路条件分配计算资源^[2-5]。无线终端与混合渲染可能拓展房车的配置选择，但现有证据不足以确定某一路线将替代其他方案，尤其缺少电池、散热与持续并发条件下的比较。

7.2 云边缘协同与多车统一运维

网络与远程管理研究为计算、内容和日志的分布式组织提供基础^[13-20]。由单车扩展到多车可能有利于配置追溯和经验积累，但车辆异构、站点网络及故障差异限制了统一模型的迁移，多车管理收益仍有待验证。

7.3 区域化内容与可配置游戏生产

文旅与教育研究强调内容、情境和任务目标的匹配^[22-28]。资源与交互模块复用可能支持主题调整，但快速生成或切换内容不等同于内容质量、文化适切性和学习效果得到保证。

7.4 人工智能辅助与运行日志评价

人工智能与VR综述讨论智能虚拟角色、动态场景及教育训练等应用，同时指出计算成本、实时反馈和隐私问题^[30]。这些方向对房车具有潜在适用性，但无法直接证明运营改善。评价重点仍是明确应用任务，并以可追溯日志检验其性能与失效条件。

8 证据缺口与未来实车验证设计

8.1 当前证据边界

在本文纳入的30篇文献中，COMS-VR^[4]最接近车辆VR场景，但运行方式与驻车式、多用户服务不同。其余文献主要支持渲染、定位、网络、应用和维护机制，未共同覆盖跨站点、长期运营的整车系

统。现有证据缺口集中在单项性能能否迁移、多个子系统如何相互影响，以及短时表现能否保持三个方面。以下内容对未来验证框架，本文未实施其中的测试，也不报告实车结果。

8.2 实车验证对象与场景

未来研究以真实改装或实际运营的VR游戏房车为对象。对象记录包括车型和车辆基本参数、车内有效VR区域、头显型号、计算设备、局域网配置、供电和空调条件，以及经空间与设备约束确认的额定并发数量。实验室VR只能补充机制研究，不能替代整车评价。

驻车场景至少区分三类：网络和供电条件较好的城市或商业场地；客流集中、无线干扰明显的景区或大型活动场地；网络较弱的郊区、临时活动或移动巡展站点。站点类型用于考察网络、环境、定位和恢复差异，不作为预设的性能等级；实际链路和环境状态仍以测量记录为准。

8.3 多用户及跨站点测试设计

在车辆允许范围内设置1人、约50%额定并发和额定并发三个负载等级，并报告实际人数；容量较小时合并重复等级。每类站点重复相同内容、画质及配置的测试，同时记录真实客流条件。运输前后采用可追溯的共同基准和可重复任务比较定位变化，分别记录重新校准前后结果，避免校准掩盖运输影响。

记录单位包括车辆、设备、站点、运营日和会话。比较并发、站点或运输前后差异时，区分同一设备的重复测量与独立车辆样本，不能把大量逐帧记录视为等量独立样本。用户不适和舒适性评价还涉及参与者差异，其样本量需依据主要终点另行确定。

8.4 核心评价指标

表3将性能、环境、运营与安全记录关联起来。运动到光子延迟指实际运动到显示响应的端到端时间，不能用RTT或单项渲染耗时代替；缺少端到端测量条件时，分别报告分项时延并注明限制。定位误差依赖独立、可追溯参照；低帧率、掉帧和同步偏差的判据在比较前统一，不在本综述中编造通用阈值。

表3 移动式 VR 游戏房车未来实车验证框架

验证维度	指标	测试条件	建议记录方式	主要回答的问题
图形与体验性能	帧时间、平均帧率、低帧率比例、运动到光子延迟、掉帧率、连续运行稳定性	相同内容与画质；分级并发；冷启动至持续负载	逐帧性能日志；同步外部测量；中断时间线	短时渲染收益在热负载和多人条件下是否保持
定位与交互	位置/姿态误差、定位丢失次数、重定位时间、运输前后基准漂移、边界异常	相同基准与任务；运输前后；校准前后；典型遮挡和照明	参照系统与定位日志定时；标记地图版本和边界事件	房间尺度结果能否迁移，移动后能否恢复
网络	RTT、抖动、丢包率、吞吐量、同步偏差、掉线率、断网恢复和模式切换时间	三类站点；分级并发；受控中断；实际支持的运行模式	网络探测、会话事件和抓包统计；统一时钟	网络波动如何影响多人会话与恢复
设备与环境	CPU/GPU 温度、功耗、舱内温湿度、头显电量、降频、故障率、异常重启	启停及连续运行；不同供电、空调与环境状态	遥测和独立环境测量；维修记录对齐；标注传感器精度	性能变化是否与热、电及设备状态相关
运营	启动准备和驻车校准时间、有效体验时长、在线率、等待和周转时间、单日故障次数	多个运营日；开闭场及客流变化；跨站重复	设备状态转换、会话和排队时间戳；人工核对	名义设备数量能否转化为持续服务能力
安全与舒适性	VR 不适退出、碰撞/边界异常、急停事件、共享设备清洁周转	真实使用及允许的并发；正常清洁流程	去标识化退出记录、观察记录、事件日志及清洁台账	不适与异常是否随负载、内容或周转改变

注：本表为尚未实施的研究框架，不含测试数据或性能承诺。模式切换仅评价被测系统实际具备的模式；安全事件以正常运行观察和安全的功能检查记录，不以诱发碰撞或不适为测试目标。指标的采样频率、单位、时间起止点及缺失原因随原始记录说明。

8.5 长期运行与数据积累

单次测试不足以证明长期可靠性。未来可按“单站连续运行—多站点重复—较长周期运营日志”逐级积累证据，至少覆盖多个运营日和不同类型站点，再通过数周至数月、与实际使用周期相符的记录考察故障、环境变化和跨站点适用性，不预设缺乏依据的固定天数。

时延和恢复时间等指标可报告均值、中位数及95%分位数，并比较并发等级、站点和运输前后差异。异常事件发生率同时报告次数与暴露分母，如设备运行小时或体验人次；在线率按计划服务时段内可用设备时长占比计算。故障平均恢复时间注明事件数量、起止定义及未恢复事件，避免遗漏长时间故障。统一设备、版本、站点和时间标识，并记录缺失日志、维修和配置变化，可支持后续重复验证；帧级高频数据与个人信息分别管理。

9 结论

普通VR及相邻领域已形成注视点与远程渲染、视觉—惯性定位、网络资源协同和数据驱动管理等技术基础。现有证据表明，技术收益取决于内容负载、终端形态、供电散热、网络稳定性和运行组织，方案选择应采用条件式判断。

面向移动式VR游戏房车，可根据运行条件选择本地GPU或一体式终端，并在网络可控时评价远程

渲染；定位路线可在inside-out、外部参考和混合定位之间按部署条件选择；多人服务可优先由本地网络维持核心会话，以外部网络承担内容更新和远程管理；运维则宜从统一状态日志与故障诊断逐步积累证据。

因此，本文归纳的是相关计算机关键技术的应用基础、场景适配条件和迁移路径，而非大量成熟运行的VR游戏房车案例。现有车辆VR研究提供近似证据，普通VR及相邻领域研究提供机制依据；其在跨站运输、驻车恢复、多人并发和长期运行中的适用性，仍需依托真实车辆、统一日志和标准化指标开展分级验证。

参考文献

- [1] KODAMA R, KOGE M, TAGUCHI S, et al. COMS-VR: Mobile virtual reality entertainment system using electric car and head-mounted display[C]//2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI). Piscataway: IEEE, 2017: 130-133.
- [2] WANG L, SHI X, LIU Y. Foveated rendering: A state-of-the-art survey[J]. Computational Visual Media, 2023, 9(2): 195-228.
- [3] PATNEY A, SALVI M, KIM J, et al. Towards foveated rendering for gaze-tracked virtual reality[J]. ACM Transactions on Graphics, 2016, 35(6): Article 179, 1-12.

- [4] MOHANTO B, ISLAM A B M T, GOBBETTI E, et al. An integrative view of foveated rendering[J]. *Computers & Graphics*, 2022, 102: 474-501.
- [5] LIU L, ZHONG R, ZHANG W, et al. Cutting the cord: Designing a high-quality untethered VR system with low latency remote rendering[C]//*Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*. New York: ACM, 2018: 68-80.
- [6] WEECH S, KENNY S, BARNETT-COWAN M. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review[J]. *Frontiers in Psychology*, 2019, 10: 158.
- [7] CHANG E, KIM H T, YOO B. Virtual reality sickness: A review of causes and measurements[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2020, 36(17): 1658-1682.
- [8] CAMPOS C, ELVIRA R, GÓMEZ RODRÍGUEZ J J, et al. ORB-SLAM3: An accurate open-source library for visual, visual-inertial, and multimap SLAM[J]. *IEEE Transactions on Robotics*, 2021, 37(6): 1874-1890.
- [9] MONICA R, ALEOTTI J. Evaluation of the Oculus Rift S tracking system in room scale virtual reality[J]. *Virtual Reality*, 2022, 26(4): 1335-1345.
- [10] HOLZWARTH V, GISLER J, HIRT C, et al. Comparing the accuracy and precision of SteamVR Tracking 2.0 and Oculus Quest 2 in a room scale setup[C]//*Proceedings of the 2021 5th International Conference on Virtual and Augmented Reality Simulations*. New York: ACM, 2021: 42-46.
- [11] NILSSON N C, SERAFIN S, STEINICKE F, et al. Natural walking in virtual reality: A review[J]. *Computers in Entertainment*, 2018, 16(2): Article 8, 1-22.
- [12] SUEN R L T, CHIU D K W, TANG J K T. Virtual reality services in academic libraries: Deployment experience in Hong Kong[J]. *The Electronic Library*, 2020, 38(4): 843-858.
- [13] ELBAMBY M S, PERFECTO C, BENNIS M, et al. Toward low-latency and ultra-reliable virtual reality[J]. *IEEE Network*, 2018, 32(2): 78-84.
- [14] BASTUG E, BENNIS M, MEDARD M, et al. Toward interconnected virtual reality: Opportunities, challenges, and enablers[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2017, 55(6): 110-117.
- [15] ZHAO S, ABOU-ZEID H, ATAWIA R, et al. Virtual reality gaming on the cloud: A reality check[C]//2021 IEEE Global Communications Conference. Piscataway: IEEE, 2021: 1-6.
- [16] PEÑAHERRERA-PULLA O S, DAMSGAARD S B, YANAKIEV B, et al. Cloud VR on 5G: A performance validation in industrial scenarios[J]. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2024, 5: 3641-3657.
- [17] KORNEEV E, LIUBOGOSHCHEV M, BANKOV D, et al. How to model cloud VR: An empirical study of features that matter[J]. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2024, 5: 4155-4170.
- [18] QUINTANA D, RODRÍGUEZ A, BOADA I. A new system for the remote configuration and monitoring of VR rehabilitation exercises[J]. *IEEE Access*, 2024, 12: 125493-125509.
- [19] LEI Y, YANG B, JIANG X, et al. Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap[J]. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2020, 138: 106587.
- [20] VAN DINTER R, TEKINERDOGAN B, CATAL C. Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review[J]. *Information and Software Technology*, 2022, 151: 107008.
- [21] MILLER M R, HERRERA F, JUN H, et al. Personal identifiability of user tracking data during observation of 360-degree VR video[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 17404.
- [22] BEKELE M K, PIERDICCA R, FRONTONI E, et al. A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage[J]. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 2018, 11(2): Article 7, 1-36.
- [23] LOUREIRO S M C, GUERREIRO J, ALI F. 20 years of research on virtual reality and augmented reality in tourism context: A text-mining approach[J]. *Tourism Management*, 2020, 77: 104028.
- [24] VERMA S, WARRIER L, BOLIA B, et al. Past, present, and future of virtual tourism-a literature review[J]. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2022, 2(2): 100085.
- [25] CALISTO M L, SARKAR S. A systematic review of virtual reality in tourism and hospitality: The known and the paths to follow[J]. *International Journal of Hospitality Management*, 2024, 116: 103623.
- [26] RADIANTI J, MAJCHRZAK T A, FROMM J, et al. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements,

- lessons learned, and research agenda[J]. Computers & Education, 2020, 147: 103778.
- [27] HAMILTON D, MCKECHNIE J, EDGERTON E, et al. Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design[J]. Journal of Computers in Education, 2021, 8(1): 1-32.
- [28] STRACKE C M, BOTHE P, ADLER S, et al. Immersive virtual reality in higher education: A systematic review of the scientific literature[J]. Virtual Reality, 2025, 29(2): Article 64.
- [29] ROBERTS S C, HAVILL N L, FLORES R M, et al. Disinfection of virtual reality devices in health care settings: In vitro assessment and survey study[J]. Journal of Medical Internet Research, 2022, 24(12): e42332.
- [30] WANG Y, GUIZANI M, HOSSAIN M S. Artificial intelligence for virtual reality: State of the art, challenges, and future perspectives[J]. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications, 2025, 21(11): Article 327, 1-29.

附录A 主要约束与可能的工程响应

附表A1集中列示正文涉及的操作性内容。响应项均为待验证的工程选项，不构成已证实效果、统一技术规范或完整实施方案。

表 A1 移动式 VR 游戏房车主要约束、证据来源及可能的工程响应

主要约束	证据来源与边界	可能的工程响应	评价落点
运输及定位基准变化	房间尺度定位 ^[9-10] ；运输影响为三级推断	运输前后检查、固定件核对、基准复测与重新校准	基准漂移、校准及恢复时间
功率和热负载	渲染研究 ^[2-5] ；缺整车热、电试验	负载测量、供电分级、环境监测及安全停机流程	功耗、温升、降频与异常中断
站点弱网及会话中断	云 VR 与网络研究 ^[13-17] ；缺房车跨站比较	网络预检、内容缓存、实际可用的弱网降级与离线模式	掉线、恢复及切换时间
内容与授权不一致	部署案例 ^[12] ；版本治理为三级推断	内容校验、版本记录、授权检查与回滚	兼容性、发布失败与停机时间
设备故障及人员响应	监控和维护研究 ^[18-20] ；缺房车故障样本	故障分级、现场与远程协同、备用设备及处理记录	误报、漏报、平均恢复时间与在线率
边界、不适与共享卫生	VR 不适 ^[6-7] 及设备消毒 ^[29] ；缺车辆使用验证	边界核对、退出和急停流程、清洁记录与设备周转	异常事件、不适退出、清洁与周转时间
玩家数据可识别性	普通 VR 轨迹识别 ^[21] ；不证明特定系统已泄露	最少必要采集、访问控制、汇总统计及期限管理	数据流、访问记录和重识别风险

注：各响应的有效性取决于车型、设备和实际流程，评价指标与表3相衔接。

Computer Technology for Mobile VR Gaming RVs: Technical Foundations and Scenario Adaptation

Guo Pinhan¹, Zhu Fei², Zeng Qingxin^{2*}

1. JSNU-SPbPU Institute of Engineering, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116
2. School of Physics and Optoelectronic Engineering, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116

Abstract: This narrative review examines the technical foundations, scenario-specific conditions, and transfer pathways of computer technologies for parked, multi-user mobile VR gaming recreational vehicles (RVs). It distinguishes direct or approximate evidence from vehicular/mobile VR, evidence from conventional VR and adjacent fields, and scenario-based inferences. The focus is not on summarizing numerous mature real-vehicle deployments, but on determining when candidate routes in real-time rendering, spatial tracking, content deployment, multi-user synchronization, cloud-edge-device collaboration, and operations management may be appropriate. Existing studies support conditional choices among local GPU rendering, standalone headsets, remote rendering, inside-out or externally referenced tracking, locally maintained core sessions, and externally connected cloud services. Their suitability depends on computing load, power and thermal conditions, network stability, spatial boundaries, and device turnover. A future real-vehicle validation framework is therefore outlined for graded concurrency, different parking sites, post-transport recovery, core performance measures, and longitudinal operational logs.

Keywords: mobile VR gaming RV; virtual reality; real-time rendering; spatial tracking; cloud-edge-device collaboration; intelligent operations and maintenance