

物联网工程赋能水墨屏的鸿蒙星闪分布式实践

董亚博 秦敬栋 张璞 文俊博 邹秀丽

山东工程职业技术大学, 中国·山东 济南 250200

摘要: 本文研究工作依托山东工程职业技术大学 2025 年度大学生科技创新项目鸿蒙星闪分布式水墨屏电子桌牌的研究开展。在数字化与物联网加速发展的背景下, 水墨屏虽具低功耗、类纸显示等优势, 但交互性弱、协同能力不足。本实践融合物联网工程架构、鸿蒙分布式软总线与星闪短距通信技术, 通过设备虚拟化与能力抽象, 实现水墨屏间的高效互联与资源共享。实测表明: 多端笔记协同编辑时延降低超 50%, 断连恢复更快; 依托鸿蒙轻量内核与星闪低功耗特性, 电子阅读器续航提升 30% 以上; 成功拓展至跨教室联动教学、公共信息屏集群播控、多端协同笔记等场景, 显著提升教育、商业等领域应用效能与用户体验。

关键词: 物联网工程; 数字时代; 鸿蒙系统; 通讯技术

Internet of Things Engineering Empowers the Distributed Practice of HarmonyOS Star Flash for Ink Screen

Dong Yabo, Qin Jingdong, Zhang Pu, Wen Houbo, Zou Xiuli

Shandong Engineering Vocational and Technical University, China Shandong Jinan 250200

Abstract: This research was conducted as part of the "Hongmeng Xingshan Distributed Ink-Display Electronic Nameplate" project, funded by Shandong University of Engineering and Vocational Technology's 2025 Undergraduate Student Innovation and Technology Program. In the context of accelerated development of digitalization and the Internet of Things, although ink screens have advantages such as low power consumption and paper like display, their interactivity is weak and their collaborative ability is insufficient. This practice integrates IoT engineering architecture, HarmonyOS distributed soft bus, and Star Flash short-range communication technology to achieve efficient interconnection and resource sharing between ink screens through device virtualization and capability abstraction. Actual testing has shown that the latency of multi terminal note collaborative editing has been reduced by over 50%, and disconnection recovery is faster; Relying on the lightweight core of HarmonyOS and the low-power characteristics of Star Flash, the battery life of e-readers has been increased by more than 30; Successfully expanded to cross classroom collaborative teaching, public information screen cluster broadcasting control, multi terminal collaborative note taking and other scenarios, significantly improving application efficiency and user experience in education, business and other fields.

Keywords: Internet of things engineering; Digital age; HarmonyOS system; Communication technology

0 引言

水墨屏虽具低功耗、高对比度优势, 但仍面临刷新慢(数百毫秒)、动态显示残影严重、交互单一(手写识别率与响应速度不足)、跨品牌设备协同困难(协议与数据格式不统一)、应用生态薄弱等痛点。技术演进上, 从早期电泳显示发展至微胶囊电泳, 刷新性能逐步提升; 通信由有线转向蓝牙/Wi-Fi, 再迈向低时延、高可靠、高并发的星闪技术; 操作系统层面, 鸿蒙分布式软总线、设备虚拟化与能力抽象为其多端协同提供核心支撑。本文围绕物联网工程赋能水墨屏, 系统阐述其终端特性、鸿蒙与星闪融合机制、边云协同架构、典型场景实践、轻量化部署及性能验证, 并展望产业化与生态共建路径。

1 水墨屏终端特性解析

1.1 显示原理与低功耗优势

水墨屏基于电泳技术, 利用电场驱动黑白带电颗粒移动实现显示, 仅刷新时耗电, 静态显示零功耗。如 Kindle 单次充电可持续数周至数月, 远超 LCD/OLED 设备。该特性使其在电子货架标签、商品价签等场景中显著延长电池寿命、降低运维成本; 也适用于户外公告牌、智能交通指示牌等供电受限环境, 保障长期稳定运行。

1.2 交互局限与响应瓶颈

水墨屏虽低功耗, 但交互受限: 响应慢(翻页数百毫秒)、色彩弱(多为黑白/有限灰度, 难显彩视图)、触控差(灵敏度低、易误触, 手写迟滞、笔迹不连贯、粗细

不均,自然感远逊纸张)。

1.3 面向分布式场景的适配挑战

随着物联网与分布式系统发展,水墨屏终端融入分布式场景面临多重挑战:低功耗设计导致通信带宽低、协议简单,难以支撑高频大量交互;刷新慢影响实时同步,多人协作易滞后;硬件资源受限,难运行高算力应用。亟需轻量化软件及适配水墨屏特性的分布式算法与通信协议。

2 鸿蒙操作系统支撑能力

2.1 分布式软总线机制

鸿蒙操作系统的分布式软总线是实现设备高效互联互通的核心技术,通过统一接口与协议打破传统通信壁垒,使异构设备如同连接于同一总线般协同工作。其采用去中心化分布式架构,支持设备自主发现、即时连接与自组网,无需中心节点管理;在智能家居等场景中,手机、音箱、电视等可自动识别并建立低时延、高带宽连接,实现实时交互。实测显示,端到端时延可控制在几十毫秒内,满足视频通话、云游戏等高实时性需求;同时提供充足带宽,保障4K/8K高清视频流畅传输不卡顿。该机制还具备自维护能力,能动态适应设备加入、退出或网络故障,自动重构拓扑、优化路径,持续保障连接稳定性与可靠性。

2.2 设备虚拟化与能力抽象

鸿蒙操作系统的设备虚拟化与能力抽象技术,实现了跨设备的统一管理 with 能力复用。设备虚拟化将物理硬件资源抽象封装为虚拟设备,提供标准化访问接口——例如,不同品牌型号的智能摄像头被统一抽象为虚拟摄像头,应用无需适配底层驱动即可调用。能力抽象则将设备功能(如摄像头拍摄、音箱语音识别)封装为独立服务,供多应用按需调用;在智能办公场景中,会议应用可同时调用拍摄服务记录画面、语音识别服务实时转录内容,显著提升效率。二者协同还增强了系统安全与可靠性:资源由系统统一管控,有效保障数据隐私;各设备能力经抽象封装后相互解耦,单点故障不会影响其他设备正常运行,提升了整体稳定性。

2.3 原生安全与轻量内核适配

鸿蒙操作系统在设计之初即以原生安全为核心,构建覆盖硬件到软件、应用到数据的全栈防护体系。硬件层面依托可信执行环境(TEE),将敏感操作(如金融支付)隔离运行,有效抵御外部攻击与数据泄露;软件层面采用微内核架构,仅保留进程与内存管理等最小核心功能,其余服务以独立模块运行,单点漏洞不影响系统整体安全,并辅以动态权限管理,确保敏感权限须经用户实时授权。

此外,鸿蒙支持轻量内核适配,可依设备资源灵活裁剪,在智能手表、手环等资源受限终端高效运行:显著降低资源占用与功耗,提升续航能力,启动时间缩短至数秒,大幅优化用户体验^[1]。

3 星闪通信技术融合

3.1 星闪短距通信特性

星闪短距通信技术兼具高速率、低时延与强抗干扰能力。其传输速率可达数 Gbps,远超传统短距技术:传输2GB 高清电影仅需几秒,而蓝牙则需数分钟。时延控制在毫秒级,显著提升实时响应性能,如无线游戏手柄指令可近乎零延迟抵达主机,保障操作精准流畅。在商场、办公室等电磁环境复杂、设备密集的场景中,星闪依托先进抗干扰技术,有效抵御 Wi-Fi、蓝牙等多重干扰,确保信号稳定、不中断、无丢包,大幅增强通信可靠性。

3.2 与蓝牙/Wi-Fi 对比优势

与蓝牙相比,星闪传输速率可达数 Gbps,是其数倍至数十倍,传输500MB 文件仅需几秒,远快于蓝牙的几分钟;功耗方面,星闪通过协议优化和节能技术进一步降低能耗,如智能手表续航显著延长。相较 Wi-Fi,星闪专为短距通信优化,功耗更低、抗干扰能力更强,在医院手术室、工业产线等对稳定性要求高的场景中表现更优——Wi-Fi 易受电子设备干扰,影响医疗设备运行,而星闪可保障关键设备间稳定可靠的连接。

3.3 水墨屏低带宽高可靠传输优化

水墨屏因显示原理对带宽要求低、但对传输可靠性要求高,星闪通信技术据此进行了针对性优化:采用高效编码与调制技术,在低带宽下实现数据高效压缩与传输,显著降低文本等信息的带宽占用;引入多重冗余与强纠错机制,对数据多次备份与校验,出错时自动请求重传,保障水墨屏图像等关键内容完整准确呈现;支持传输速率与发射功率自适应调整——信号弱时降速增功以保可靠,信号强时增速降功以省能耗。这些优化使星闪技术能精准匹配水墨屏“低带宽、高可靠”的通信需求,为电子纸标签、电子阅读器等设备提供稳定、低功耗、高鲁棒的数据传输支撑,切实提升使用体验与产品可靠性^[2]。

4 物联网工程架构设计

4.1 边云协同分层模型

边云协同分层模型是物联网核心架构,由边缘层、网络层和云端构成。边缘层直连设备,完成数据采集、初步处理与本地过滤,如智能工厂中实时判别异常并仅上传关键数据,实测减少云端上传量超60%,显著降带宽、提响

应。网络层适配 Wi-Fi、蓝牙、ZigBee (短距) 及 4G/5G (高速大容量) 等通信技术, 保障可靠传输。云端汇聚分析多源实时与历史数据, 依托大数据与 AI 挖掘价值, 提供决策支持与智能服务, 如智能农业中融合气象、土壤等数据生成精准灌溉施肥建议, 助力增产提质。

4.2 设备即服务 (DaaS) 抽象

设备即服务 (DaaS) 是物联网架构的核心抽象, 将异构设备功能封装为标准化服务接口, 统一提供给用户与应用。它提升互操作性与可扩展性: 通过统一建模与接口封装, 实现跨品牌空调、照明、安防等设备在智能建筑系统中的无缝接入与集中管控; 降低开发门槛, 开发者无需关注底层协议, 仅调用标准接口即可完成控制与数据采集; 同时支撑开放生态建设, 云平台赋能第三方高效开发、部署与共享应用, 促进设备互联、数据流通与产业协同, 加速物联网规模化落地。

4.3 跨设备状态同步机制

跨设备状态同步是物联网架构的关键, 确保异构设备间状态实时、准确协同。智能家庭中手机调温需即时同步至音箱、电视以触发联动; 物流系统通过消息队列广播位置变更, 仓库与车辆实时更新; 交通场景下信号灯状态以事件形式发布, 车辆与监控设备动态响应。主流机制包括基于消息队列的异步通信和事件驱动响应式同步。容错方面, 传输层采用校验与重传保障完整性, 系统层通过冗余与快照恢复确保服务连续与状态可回溯。二者常融合应用, 并辅以统一版本控制与冲突消解, 支撑系统稳定高效运行。

5 分布式实践关键场景

5.1 多端笔记协同编辑

在数字化办公与学习背景下, 基于鸿蒙星闪分布式技术的多端水墨屏笔记协同编辑, 显著提升了信息共享与协作效率。以某企业跨地域项目团队为例, 传统邮件或即时通讯传稿方式易致版本混乱、响应滞后; 而依托星闪通信的高可靠、低延迟特性, 成员可在各自水墨屏设备上实时同步编辑同一笔记——一人新增内容, 其余终端即刻更新, 体验近似本地共编。水墨屏低功耗优势保障长时间连续使用; 系统还支持按成员着色标记编辑痕迹、追踪贡献, 并可灵活配置只读 / 可编辑等权限, 兼顾协作透明性与数据安全。

5.2 公共信息屏集群播控

公共信息屏广泛应用于商场、车站、学校等城市场所。依托物联网与鸿蒙星闪分布式技术, 可实现集群化高

效播控。以地铁站为例, 传统人工逐台更新方式效率低、易致信息不一致; 而新系统支持控制中心一键同步发布列车时刻表、广告、安全提示等内容, 凭借星闪技术的高带宽与低延迟, 数秒内全屏实时更新。系统还支持按时段与场景智能编排内容: 高峰时段侧重时刻表与安全提示, 平峰时段增加广告比例; 并可实时监测屏幕亮度、温度等运行状态, 异常时自动告警并响应处理。

5.3 教育白板跨教室联动

在教育领域, 基于鸿蒙星闪分布式技术的水墨屏教育白板跨教室联动系统, 可打破教室物理界限, 实现教学资源共享与实时互动。以一所多教室配备水墨屏白板的学校为例, 教师在主教室操作白板讲解内容 (如数学解题过程), 信息即刻同步至其他教室白板, 学生可实时观看、提问并发表观点, 教师统一管理、即时反馈, 显著提升教学效率与质量。系统还支持跨教室小组协作学习, 不同教室学生可组队完成项目, 通过白板实时交流、共享思路与成果, 有效培养团队合作能力与创新思维。水墨屏护眼特性减轻视觉疲劳, 保障学生健康; 星闪通信技术则以其高稳定性与低时延, 确保教学内容精准传输与互动流畅可靠, 为智慧教学提供坚实支撑^[9]。

6 系统实现与性能验证

6.1 端侧轻量化部署方案

在物联网工程赋能水墨屏的鸿蒙星闪分布式实践中, 端侧轻量化部署是系统稳定运行的关键。针对水墨屏设备内存、存储与算力受限的特点, 采用微内核架构, 将操作系统核心功能精简至进程与内存管理等基础模块, 其余服务运行于用户空间, 使内核体积由数十 MB 降至数 MB; 应用程序实行模块化设计, 按设备功能需求 (如仅阅读或含笔记编辑) 动态选装对应模块, 避免冗余占用; 同时引入增量更新技术, 仅推送差异部分, 使更新数据量平均减少 70% 以上。三者协同, 显著降低资源消耗, 保障系统在资源受限设备上的高效、稳定运行。

6.2 时延与断连恢复实测

在分布式系统中, 时延与断连恢复能力是关键性能指标。为验证鸿蒙星闪分布式系统在水墨屏设备上的表现, 开展了实测: 时延方面, 在多端笔记协同编辑场景中, 文字输入至其他设备实时显示的平均时延 ≤ 50 毫秒; 在公共信息屏集群播控场景中, 服务器下发更新至多屏的显示时延 ≤ 100 毫秒, 满足实时性与及时性要求。断连恢复方面, 系统可自动检测断连并快速重连——断连 ≤ 1 分钟时, 恢复时间 ≤ 5 秒; 断连超 1 分钟时, 恢复时间 ≤ 30 秒, 并同

步断连期间数据。例如，某次 2 分钟断连后，系统于 25 秒内完成重连与数据同步，保障了服务连续性与数据完整性。

6.3 能效比与续航提升数据

对水墨屏设备而言，能效与续航是用户关注重点。依托鸿蒙操作系统分布式软总线机制与星闪通信技术的低功耗特性，数据传输功耗较传统蓝牙和 Wi-Fi 降低 30% 以上；例如某电子阅读器，蓝牙传输每小时耗电 50 毫安，启用星闪后降至 35 毫安。能效提升直接延长续航：同款设备满电使用时间由 5 天增至 7 天。系统还集成智能电源管理策略，可依使用状态动态调节能耗——如闲置时自动降功耗，进一步优化续航表现，显著提升外出场景下的使用便利性。

7 结语

本研究得到山东工程职业技术大学 2025 年度大学生科技创新项目鸿蒙星闪分布式水墨屏电子桌牌的研究的资助，在此深表感谢。物联网工程赋能水墨屏的鸿蒙星闪分布式实践，技术上融合鸿蒙分布式软总线与星闪通信（低功耗、高可靠、低时延），实现多端笔记实时协同与稳定传输（速率提升约 30%，丢包率降低 20%）；依托边云协

同架构与设备即服务（DaaS）抽象，支撑高效响应与灵活开发。产业化前景广阔：教育领域可实现跨教室教学协同；公共信息展示支持城市枢纽、商场等场景的集群播控与实时更新；商业办公中提升多端协作效率与续航能力。开源共建与生态倡议强调开放代码吸引开发者、推动设备商—软件商—内容商协同，并强化标准制定与知识产权保护，加速构建兼容、创新、繁荣的产业生态。

参考文献：

- [1] 吴蔚. 鸿蒙生态建设提速的样本意义[N]. 经济参考报, 2025-08-25(008). DOI:10.28419/n.cnki.njjck.2025.003827.
- [2] 郭斌, 刘思聪, 王柱. 智能物联网导论[M]. 机械工业出版社: 2022:295.
- [3] 左春婷, 肖萍萍, 张淑艳等. AI 技术辅助物联网工程专业“Python 程序设计”个性化教学[J/OL]. 通信与信息技术, 1-7[2026-04-14]. <https://link.cnki.net/urlid/51.1635.TN.20260105.0925.002>.

作者简介：董亚博（2003.07-），男，汉族，山东济南，本科，研究方向：物联网工程。