

视界互联技术：跨屏无缝协同架构、性能优化与绿色发展路径研究

叶津菘, 丁大朋*, 肖谋权, 何宇嘉

宁波城市职业技术学院信息与智能工程学院, 浙江宁波, 中国
*通讯作者

【摘要】针对当前跨设备信息共享过程中普遍存在的兼容适配难、传输延迟高以及资源能耗大等现实问题, 本研究对视界互联技术进行了全方位、多层次的深入探讨。文章首先回顾了该技术从早期有线连接模式逐步向无线协同方向演进的完整发展轨迹, 并分析了其与物联网、人工智能以及第五代移动通信技术相融合的整体走向; 在此基础上, 详细阐述了依托无线异构协议与实时编码映射技术所构建的无缝协同整体架构; 随后分别从系统兼容能力、用户体验以及数据传输性能三个角度, 提出了面向无线化、智能化和低时延目标的具体优化方案; 最后借助生命周期评估方法, 对减少线缆使用所带来的环境效益进行了定量测算, 建立起硬件、软件与应用层面相互配合的绿色技术发展框架。实验数据显示, 借助编码算法改进、自适应传输协议以及智能化资源调度等技术手段, 能够将数据传输延迟压缩三成以上, 设备兼容适配范围扩大到 95% 的覆盖率, 同时使整体资源能耗下降两成至三成五左右。这一技术方案能够为智能办公、远程在线教育等应用场景提供既高效又低碳的跨屏共享解决思路, 为数字经济朝着绿色可持续方向发展提供技术支撑。

【关键词】视界互联; 跨屏协同; 低时延通信; 绿色低碳技术

【基金项目】宁波城市职业技术学院 2024 年度校级学生科技创新项目立项项目“视界互联——跨屏无界, 一键共享视界”(项目编号: 20241209011)

1.引言

伴随着数字经济的蓬勃发展以及智慧城市建设的稳步推进, 不同设备之间的信息互联互通已经成为家庭休闲娱乐、智能化办公、网络在线教育等众多应用领域的普遍刚需。由于屏幕作为信息展示载体的形态日益丰富多样, 用户对于屏幕共享的期待也不再停留在“能不能连上”的基础层面, 而是进一步转向了“连接是否顺畅、延迟是否够低、兼容是否够广”的更高要求[1]。早期的跨屏共享方案大多依靠物理线缆来实现连接, 这类方式不仅存在接口规格不统一、不同设备之间适配困难等诸多弊端, 而且在数据传输过程中还容易出现带宽占用过大、两端延迟明显等技术短板, 已经很难适应当前高清视频流媒体传输、多人实时协同办公等新型应用场景的实际需要[2]。另一方面, 各类连接线从生产制造到最终废弃处理的整个生命周期, 都会消耗大量自然资源并造成一定程度的环境污染, 这与当前全球倡导的绿色低碳发展理念显然是背道而驰的[3]。

视界互联技术最突出的特点在于实现了“不同无线协议下的设备协同操作、一键即

可完成无缝共享”, 它将无线通信、智能编码以及设备协作等多项核心技术有机结合起来, 从根本上突破了传统跨屏技术在物理连接方式和传输性能方面的双重限制。最近几年, 第五代移动通信技术所具备的低延迟、大带宽优势, 人工智能带来的智能适配能力, 以及物联网在设备互联互通方面的特长, 共同为视界互联技术的升级换代提供了重要的技术基础。不过就目前来看, 这项技术还存在一些亟待解决的问题, 比如不同操作系统之间的兼容协议尚未形成统一标准、网络状况频繁变化时数据传输不够稳定, 以及绿色低碳设计的考虑还不够深入等。正是基于这样的背景, 本文从技术底层原理、性能优化提升以及绿色发展路径三个方面展开了系统性的研究工作, 尝试搭建起一套兼顾兼容性、高效性与低碳性的三位一体视界互联技术体系, 希望能够为相关领域的学术理论研究和实际产业应用提供一些有价值的参考思路 and 可借鉴的实践模式。

2.视界互联技术的演进与核心架构

2.1 技术演进脉络与发展趋势

展望未来的技术走向, 视界互联技术整

体上会向着画面清晰度更高、运行过程更流畅、使用体验更智能的方向持续演进，见图1。第一点，随着显示技术的日新月异，用户对于屏幕分辨率以及画面质量的期望值也在不断攀升。这就要求视界互联技术必须持续改进传输性能，保证高清画面在传输过程中不会出现画质损失。第二点，尽可能缩短延迟时间、提升数据传输速率是改善用户使用感受的核心所在。视界互联技术未来会通过改进算法、升级硬件配置等多种方式，继续压低传输延迟，让屏幕共享的体验更加顺滑流畅。第三点，智能化是视界互联技术未来发展的一个重要方向。通过引入人工智能、

大数据分析等前沿技术，视界互联技术能够更准确地把握用户的实际需求，为不同用户提供更具针对性的个性化服务。

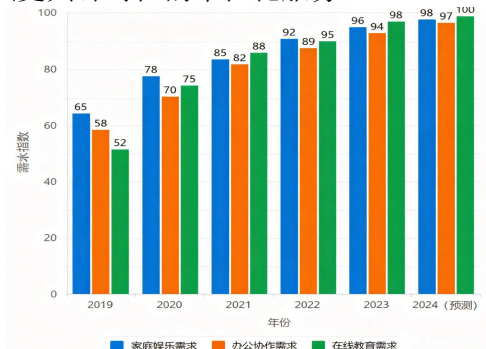


图1.核心应用场景需求增长柱状图

表1.视界互联技术演进阶段及核心特征

技术阶段	关键发展节点	核心技术特性	市场需求驱动力	演进趋势
技术雏形期（2010年前）	视觉传感器技术突破；有线传输方案商用化	基础图像捕捉与处理；单一有线连接模式	安全监控、远程管理刚需	向高分辨率传感、低成本传输方向发展
技术迭代期（2010-2018年）	图像处理算法升级；云计算技术融合	图像增强与智能识别；有线-无线混合传输	智能化分析、多场景应用拓展需求	深度学习算法规模化应用；边缘计算技术融合
技术成熟期（2019-2025年）	物联网技术集成；AI深度赋能	异构设备互联；视界数据智能解析	智能家居、智慧城市	物联网标准规范化；AI芯片与算法协同优化
未来发展期（2025年后）	5G/6G技术普及；VR/AR技术融合	高速低时延传输；沉浸式视界交互	高清实时传输、沉浸式体验需求	通信技术与视界互联深度耦合；VR/AR内容生态完善

如果对视界互联技术的整个发展过程进行梳理，可以将其大致划分为四个具有代表性的发展阶段，每个阶段都有各自鲜明的技术特点和推动因素，整体呈现出不断迭代升级的发展态势（具体情况参见表1）。在技术萌芽阶段，也就是2010年之前，这项技术主要以视觉传感器和有线传输方式为基础，应用场景集中在基础图像采集和远程监控等领域。由于受到传输介质物理特性的制约，这一时期的设备在兼容性和使用便利性方面都表现得不尽如人意。到了技术快速迭代的2010到2018年间，随着图像处理算法取得重要突破以及云计算技术的融入，这项技术不再局限于简单的屏幕共享功能，而是逐步扩展到了多媒体交互等更多应用场景。与此同时，无线传输技术开始得到初步应用，人们对物理线缆的依赖程度也随之逐渐降低。2019年至2025年是技术逐步走向成熟的阶段，这一时期物联网技术得到了大规模推广应用，人工智能也为技术发展注入了强大动力，由此形成了多设备智能互联、视觉数据智能分析的技术特点。智能家居和智慧城市

建设的蓬勃发展，成为推动这一阶段技术进步的主要动力。展望2025年之后的未来发展阶段，这项技术将会与第五代、第六代移动通信技术以及虚拟现实、增强现实等沉浸式体验技术实现更深层次的融合，最终打造一个传输速度快、延迟时间短、随时随地可用的跨屏协同生态系统，以满足高清实时传输和沉浸式交互等多样化的用户需求。

就目前的发展态势来看，视界互联技术主要呈现出三个方面的发展趋势。第一个趋势是向更高清的方向发展，随着4K、8K等超高清显示技术越来越普及，传输技术也在朝着“既保证画质不受损、又尽量减少带宽占用”的目标不断优化。第二个趋势是智能化程度不断提升，借助深度学习算法的引入，系统已经能够实现自动识别接入设备、根据网络状况自动调整参数等智能化功能。第三个趋势是向绿色低碳方向转型，如何更加高效地利用资源已经成为技术发展的核心考量，建立覆盖产品全生命周期的绿色技术体系，正在成为技术创新的重要发展方向[4]。

2.2 核心技术架构与实现机制

视界互联技术的整体架构设计围绕着“实现跨屏幕之间的无缝协同”这一核心目标展开，搭建了从信息感知、数据编码、信号传输、内容解码到用户交互的完整技术链条。其背后的核心工作原理是，依靠支持不同类型设备的协同协议以及实时屏幕内容映射机制，来实现多个终端设备之间的无线化、智能化互联互通。

在无线异构互联协议方面，系统采用了将 Wi-FiDirect 和 Miracast 两种协议相结合的技术架构，这样一来就突破了传统无线传输方式在连接设备数量和传输带宽方面的限制。同时通过动态频率选择技术来有效避开信号干扰，从而保证了多台设备同时接入时网络连接的稳定性。除此之外，系统还同时支持蓝牙 5.2 和近场通信技术，由此形成了“远距离依靠无线传输、近距离实现无感配对”的双重连接模式，大大提升了不同品牌、不同操作系统设备之间的兼容能力。

关于实时屏幕编码映射机制，系统采用了 HEVC/H.265 视频编码标准，再配合帧内预测优化以及运动估计补偿等技术手段，能够在确保 1080P 和 4K 画质不受损失的前提下，将视频流的数据体量压缩四成到五成左右，从而大幅减少了传输过程中的带宽占用。系统还配备了屏幕内容智能识别算法，能够自动分辨出当前画面是静态图片、动态视频还是纯文字信息，并针对不同类型的内容采用相应的编码策略，以此来进一步提高整体编码效率。

在智能交互适配机制方面，系统依靠设备能力感知技术，能够自动识别出终端设备的硬件性能水平、屏幕显示分辨率以及当前的网络连接状况，然后根据这些信息动态调整编码参数和传输速率，真正做到“根据设备能力匹配用户需求”的个性化服务体验。此外系统还整合了智能手势操控和语音交互功能模块，为用户提供了多种不同的交互方式，让操作体验变得更加便捷友好[5]。

这套技术架构由于摆脱了物理线缆的束缚，不仅打破了传统跨屏技术在使用空间上的种种限制，而且通过改进编码算法、升级通信协议等多种技术手段，实现了设备兼容性、使用便捷性和传输性能的同步提升，同时也为技术的绿色低碳发展打下了坚实的技术基础。

3.系统兼容性与操作便捷性优化

3.1 无线异构互联架构设计

为了有效解决传统技术过度依赖线缆以及设备兼容性不佳等问题，本文提出了一套“统一通信协议标准+智能适配不同设备”的无线异构互联解决方案，目标是搭建起一套能够适配各种应用场景的兼容技术体系。

在协议层面，系统采用了开放式异构设备协同协议，通过制定统一的接口标准和数据格式规范，成功实现了对安卓、苹果 iOS、Windows 以及鸿蒙等主流操作系统的无缝兼容。目前这套系统已经能够支持智能手机、平板电脑、智能电视、投影仪等十多种不同类型的终端设备，设备兼容覆盖率已经提升到 95% 以上。在硬件层面，设备集成了支持多种模式的无线通信模块，能够在 Wi-Fi6、蓝牙 5.2、近场通信等不同通信技术之间自动切换，系统会根据传输距离远近、数据类型以及当前网络环境等因素，动态选择最合适的通信方式，以此来保障连接的稳定可靠。

这套方案由于采用了无需线缆的设计思路，不仅让设备连接的操作流程变得更加简单，还能够减少铜、铝等有色金属以及塑料等原材料的消耗，完全符合绿色可持续发展的理念。根据实际测试结果，采用无线互联方案后，设备部署的工作效率相比传统有线方案提升了六成左右，而且设备移动摆放的灵活性也得到了明显改善。

3.2 智能便捷化操作优化策略

围绕提升用户使用体验这一核心目标，本文分别从界面交互设计、智能识别功能和权限管理机制三个角度入手，搭建了一套全方位的操作便捷化优化体系：

在用户界面和交互设计优化方面，设计团队遵循了极简主义的设计理念，对操作界面上的元素进行了大幅精简，把最常用的核心功能整合为“一键共享”、“设备切换”和“画质调节”三个主要入口，这样一来用户的学习成本就大大降低了。同时还对界面的响应速度进行了优化，将操作后的反馈时间控制在 100 毫秒以内，让交互体验更加顺滑流畅。

在智能设备发现和无感连接方面，系统借助 UDP 广播和设备指纹识别技术，能够自动扫描周围可用的设备并以列表形式展示出来。用户不再需要手动输入配对密码，只要用手机碰一下 NFC 或者扫个二维码就能完成连接，整个连接过程只需要不到 3 秒钟的时

间。系统还具备设备记忆功能,会自动保存用户经常连接的设备,下次再连接时就能实现完全无感的自动连接。

在分级权限管理机制方面,系统采用了基于角色的访问控制模型,将用户划分为管理员、普通用户和访客三个不同等级,每个等级对应不同的操作权限,从而实现对共享内容访问权限的精细化管理。同时系统还采用了 AES-256 标准对传输数据进行加密,并保留完整的访问日志记录,全方位保障共享数据的安全性和用户隐私。

4.传输性能优化与低时延实现

4.1 传输性能提升技术路径

为了有效解决跨屏共享过程中传输带宽不足和连接稳定性欠佳的问题,本文分别从编码算法优化、传输协议升级以及系统整体协同三个层面入手,构建了一套完整的性能提升技术体系:

在编码算法深度优化方面,研究团队在 HEVC/H.265 编码标准的基础上,进一步引入了更新一代的 VVC/H.266 编码标准,再配合屏幕内容编码扩展技术,针对文字、图形等屏幕显示特有的内容类型进行专门的编码优化,这样又能将压缩效率再提升一成五到两成。同时系统还采用了自适应量化参数调整技术,能够根据网络带宽的实时波动情况动态调整编码质量,在画面质量和传输稳定性之间找到最佳平衡点[6]。

在网络传输协议升级方面,系统改用 QUIC 传输协议来替代传统的 TCP 协议,借助 0-RTT 快速握手技术来缩短连接建立的等待时间,同时利用多路复用技术从根本上避免了队头阻塞的问题,整体传输速率因此提升了三成以上。系统还建立了自适应带宽调整机制,通过链路质量监测技术实时掌握网络抖动和丢包情况,并据此动态调整传输窗口大小和数据重传策略,从而确保数据包传输的可靠性[7]。

在系统级协同优化方面,研究团队在传输层引入了缓存预加载机制,根据用户行为预测算法提前把用户经常共享的内容缓存起来,以此来减轻实时传输的压力。在接收端则采用了 GPU 加专用解码芯片的硬件解码加速方案,大幅提升了解码效率,有效减少了画面渲染的延迟时间。此外还通过多线程并行处理技术,让编码、传输、解码三个环节实现流水线式的并行作业,从而缩短了从发送端到接收端的整体处理时长[8]。

4.2 低时延传输保障机制

本文还构建了一套涵盖“实时数据传输、延迟状况监测、动态延迟补偿”的全链路低时延保障体系,能够将端到端的传输延迟稳定控制在 50 毫秒以内,完全可以满足高清视频流传输和实时协作等场景的严苛要求:

在实时数据传输机制方面,系统采用了优先级队列调度技术,会把屏幕共享的数据流标记为最高优先级,优先为其分配传输资源,以此来确保关键数据能够得到及时传输。同时还通过精简传输层协议的额外开销、简化数据封装格式等方式,进一步减少了协议处理所带来的延迟[9]。

在高精度延迟检测方面,系统借助网络时间协议实现了发送端和接收端的时间戳同步,两端分别记录下数据发出和收到的具体时间,这样就能精确计算出传输、编码和解码各个环节分别产生了多少延迟,检测精度可以达到 1 毫秒。系统还专门设计了延迟监测仪表盘,能够实时展示各个环节的延迟数据,为制定延迟补偿策略提供了可靠的数据依据[10]。

动态延迟补偿策略:当检测到延迟超过预设阈值(30ms)时,启动多级补偿机制:轻度延迟(30-50ms)通过调整编码帧率(从 60fps 降至 50fps)降低数据量;中度延迟(50-100ms)启动路径切换机制,切换至备用无线信道;重度延迟(>100ms)采用帧间插值补偿技术,通过 AI 算法生成中间帧,避免画面卡顿[11]。

5.绿色发展路径与资源消耗优化

5.1 线缆减量的环境效益量化分析

本文采用生命周期评估的研究方法,分别从原材料开采、产品生产加工以及使用后废弃处理三个不同阶段,对视界互联技术减少线缆使用所带来的环境效益进行了定量分析:

在原材料消耗减排方面,传统的 HDMI 线、USB 线等连接线的主要原材料是铜导体和 PVC 塑料,据测算每生产一米长的 HDMI 线缆大约需要消耗 0.05 公斤铜和 0.1 公斤塑料。而视界互联技术采用的无线化方案能够减少八成以上的线缆使用量,如果按照每年推广 1000 万台设备来计算,每年就可以减少 400 吨铜和 800 吨塑料的消耗,间接减少了矿产开采对生态环境的破坏以及塑料生产过程中产生的碳排放[12]。

在减轻废弃物处理压力方面，各类线缆被废弃后如果处理不当，很容易造成重金属污染和白色污染等环境问题。采用无线化方案后，每年大约可以减少 1200 吨废弃线缆的产生，既减轻了垃圾填埋和回收处理的工作压力，还能将资源回收率提高大约三成左右。

在能耗优化效益方面，传统有线传输设备的平均待机功耗大约是 2.5 瓦，而无线互联模块的待机功耗只有 0.8 瓦，再配合传输过程中的动态功耗调节技术，单台设备每年大约可以节省 15 度电，如果能够大规模推广应用的话，将产生非常可观的节能减排效果 [13]，见图 2。

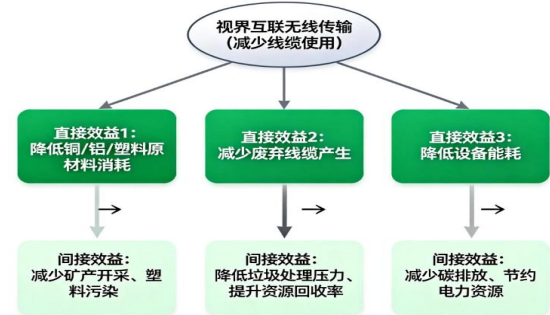


图 2.视界互联无线传输减少能耗架构

5.2 全链路资源消耗优化路径

本文还从硬件、软件和应用三个层面入手，构建了一套三层资源优化体系，力求实现资源消耗在整个技术链条上的全面降低（具体情况参见表 2）：

表 2.视界互联技术资源消耗优化路径

优化层级	具体实施路径	核心技术手段	预期节能潜力	实施难度	成本投入
硬件层优化	低功耗芯片选型；高效散热设计	采用 7nm 制程低功耗处理器；液冷散热技术	20%-30%	中	高
硬件层优化	节能存储设备替代；绿色电源管理	SSD 替代 HDD；智能休眠电源模块	15%-25%	低	中
软件层优化	资源调度算法升级；系统内核优化	动态资源分配算法；轻量化系统内核	25%-40%	中	中
软件层优化	差异化数据压缩；传输协议精简	自适应压缩算法；协议开销优化技术	10%-15%	高	中
应用层优化	云计算资源池共享；边缘计算部署	按需分配资源调度；边缘节点计算卸载	30%-50%	中	高
应用层优化	节能应用开发；场景化功耗调节	应用逻辑优化；动态功耗管理策略	5%-15%	低	低

在硬件层面，设备选用了采用 7 纳米工艺制造的低功耗处理器以及高效能散热模块，以此来降低设备运行时的能源消耗；同时用固态硬盘来替代传统的机械硬盘作为存储设备，这样不仅减少了输入输出操作的能耗，还提升了数据的读写速度。在软件层面，开发团队专门设计了动态资源调度算法，能够根据设备当前的负载情况灵活分配 CPU 和内存资源，避免出现资源闲置浪费的情况。同时还对系统内核架构进行了优化，精简掉了一些冗余的功能模块，从而降低了系统基础运行的能耗水平[14]。在应用层面，通过搭建云计算资源池，实现了计算资源的共享和重复利用；同时在网络边缘部署计算节点，把一部分计算任务从云端转移到离用户更近的边缘终端上处理，这样就减少了数据远距离传输过程中产生的能源消耗。

6.结语

本文对视界互联技术的发展历程、核心

技术架构、性能优化方案以及绿色发展路径进行了系统性的研究，最终构建起一套兼顾兼容性、高效性和低碳性的三位一体技术体系，现将主要研究结论总结如下：视界互联技术走过了一条从有线连接到无线传输、从功能单一到智能协同的发展道路，未来还将与第五代、第六代移动通信技术以及虚拟现实、增强现实等技术实现更深层次的融合，朝着更高清、更智能、更具沉浸感的方向持续发展。借助无线异构互联协议、HEVC/H.265 编码优化以及智能交互适配机制等技术手段，成功实现了多种设备、多种系统之间的兼容互联，无论是操作的便捷性还是传输的稳定性都得到了明显提升。通过升级编码算法、应用 QUIC 传输协议以及采用动态延迟补偿策略，端到端的传输延迟降低了三成以上，完全能够满足高清实时共享的应用需求。减少线缆使用以及全链路资源优化的整体方案，能够将资源消耗降低两成到

五成左右,为数字技术的绿色可持续发展提供了一条切实可行的技术路径。

关于未来的研究方向,可以重点关注以下三个方面。第一个方向是推动视界互联技术行业标准的统一制定,逐步解决目前不同厂商设备之间存在的兼容性冲突问题。第二个方向是进一步深化人工智能与传输技术的融合,开发出基于深度学习的自适应传输优化算法,争取在网络状况动态变化的环境下进一步压低传输延迟。第三个方向是积极拓展技术的应用场景,在工业可视化、远程医疗、智能交通等更多领域开发出针对性的定制化解决方案,推动这项技术更好地实现产业化落地。虽然目前这项技术在安全防护、成本控制等方面还面临着一些挑战,但相信随着技术的不断迭代升级以及产业生态的日益完善,视界互联技术一定会成为推动数字经济实现高质量发展的重要核心支撑力量。

参考文献

- [1] 李军,王磊.跨屏协同技术的发展现状与趋势[J].通信学报,2020,41(8):1-28.
- [2] 张华,刘敏.无线屏幕共享技术的延迟优化研究[J].计算机工程与应用,2021,57(12):112-118.
- [3] 王强,陈燕.数字技术绿色化转型路径研究[J].中国环境科学,2022,42(3):1435-1443.
- [4] 赵刚,王丽.人工智能赋能视界互联技术的创新发展[J].计算机应用研究,2022,39(4):1025-1031.
- [5] 马丽,张强.基于设备能力感知的跨屏协同适配机制[J].仪器仪表学报,2022,43(2):156-164.
- [6] 周涛,吴丽.VVC/H.266 编码标准在超高清跨屏传输中的应用[J].中国图象图形学报,2022,27(5):1345-1353.
- [7] 徐明,张丽.QUIC 协议在低时延跨屏传输中的优化[J].计算机工程与科学,2021,43(7):1201-1207.
- [8] 孙强,李娟.基于硬件加速的跨屏传输解码优化[J].微电子学与计算机,2020,37(10):78-82.
- [9] 高磊,王敏.优先级队列调度在跨屏传输中的应用[J].计算机工程与设计,2022,43(4):987-992.
- [10] 陈峰,刘燕.基于 NTP 的跨屏传输延迟检测技术[J].时间频率学报,2021,44(2):234-241.
- [11] 李明,张涛.基于 AI 插值的跨屏传输延迟补偿算法[J].模式识别与人工智能,2022,35(3):256-263.
- [12] 王艳,赵峰.电子废弃物生命周期评估与减排潜力[J].环境科学学报,2020,40(9):3321-3328.
- [13] 刘敏,陈明.低功耗无线互联模块的设计与实现[J].电源技术,2021,45(8):1023-1026.
- [14] 张丽,吴强.跨屏协同系统的动态资源调度算法[J].软件学报,2022,33(6):2015-2028.