 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i6.6031

Research on the integration and application of 5G wireless communication and optical communication technology

Yan Lin

Ling Sai (Chengdu) Technology Co., Ltd., Sichuan, Chengdu, 610097, China

Abstract

With the rapid advancement of fifth-generation mobile communication (5G) technology, the integration of wireless and optical communication technologies has become a key driver for the evolution of modern communication networks. This article systematically outlines the fundamental concepts, current development status, and broad application prospects of 5G technology in the wireless communication field. It also delves into the unique advantages of optical communication technology and its essential role in 5G networks. Furthermore, it explores the technical pathways, typical application scenarios, and various challenges faced during the integration of 5G wireless and optical communication. Finally, based on current research findings, the article offers forward-looking suggestions for future development directions, aiming to provide valuable insights for technological innovation and industrial growth in the communication sector.

Keywords

5G; wireless communication; optical communication; fusion technology; application research

5G 无线通信与光通信技术的融合及其应用研究

林焱

凌赛（成都）科技有限公司，中国 · 四川 成都 610097

摘　要

随着第五代移动通信（5G）技术的迅猛发展，无线通信和光通信技术之间的融合已成为推动现代通信网络演进的核心动力。本文系统阐述了5G技术的基本概念、发展现状及其在无线通信领域的广阔应用前景；深入剖析光通信技术的独特优势及其在5G网络中不可或缺的关键作用；详细探讨5G无线通信与光通信融合的技术路径、典型应用场景，以及融合过程中面临的诸多挑战。最后，基于当前研究成果，对未来发展方向提出具有前瞻性的改进建议，旨在为通信领域的技术创新与产业发展提供有益参考。

关键词

5G；无线通信；光通信；融合技术；应用研究

1 引言

自 2019 年全球首个 5G 商用网络正式推出，5G 技术便迅速成为通信领域备受瞩目的焦点。与 4G 技术相比，5G 在数据传输速度、网络容量、延迟时间等方面实现了质的飞跃 [1]。数据显示，5G 的峰值速率可达 20Gbps，用户体验速率超过 100Mbps，网络容量提升至 4G 的 1000 倍，端到端时延更是降至 1 毫秒以内。这些卓越性能为智能城市、自动驾驶、工业互联网等新兴应用奠定了坚实的技术基础。

与此同时，光通信凭借高带宽、低损耗、长距离传输等显著特性，在骨干网和城域网建设中占据主导地位。光纤作为光通信的核心传输介质，其信号保真度远超传统电缆，衰减率极低，能够满足长距离、大容量的数据传输需求。然而，随着物联网（IoT）、虚拟现实（VR）、增强现实（AR）等新型业务的蓬勃发展，数据流量呈爆炸式增长，单一的无线或有线通信方式已难以满足未来网络对高带宽、低时延、广连接的严苛要求。在此背景下，实现 5G 无线通信与光通信的有效融合，成为突破通信技术瓶颈、推动通信网络向更高层次发展的关键所在。

【作者简介】林焱（1983–），男，中国四川泸县人，本科，工程师，从事无线通信/光通信研究。

2 5G 无线通信技术概述

2.1 技术特点

2.1.1 超高速率

5G 网络的峰值速率可达 20Gbps，这意味着在理想条件下，下载一部 10GB 的高清电影仅需 4 秒。用户体验速率也超过 100Mbps，能够为用户带来流畅的高清视频播放、云游戏等高速率应用体验 [2]。

2.1.2 大连接密度

5G 网络具备强大的连接能力，每平方公里可支持百万级设备接入 [3]。这一特性能够满足物联网时代海量设备同时

在线的需求，如智能城市中的各类传感器、智能家居设备等，均可实现稳定连接。

2.1.3 低时延

5G 的端到端时延可降至 1 毫秒以内，相比 4G 网络的几十毫秒时延，实现了巨大突破 [4]。低时延特性使得 5G 在实时性要求极高的应用场景中发挥关键作用，如远程医疗手术、无人驾驶等，能够确保指令的快速传输与响应，保障应用的安全性和可靠性

2.1.4 高可靠性

5G 网络的高可靠性适用于关键任务型应用。通过先进的通信技术和冗余设计，5G 能够在复杂的网络环境中保持稳定连接，减少数据传输错误和中断，为远程医疗、无人驾驶、工业自动化等对可靠性要求极高的领域提供可靠的通信保障 [5]。

2.2 5G 关键技术

2.2.1 毫米波频段

5G 利用毫米波频段丰富的高频段资源，大幅增加了网络带宽。毫米波频段的使用使得 5G 能够承载更多的数据流量，满足用户对高速数据传输的需求 [6]。然而，毫米波信号也存在传播损耗大、穿透能力弱等问题，需要通过密集部署小基站等方式加以解决。

2.2.2 大规模 MIMO

大规模 MIMO 技术通过在基站和终端部署多天线阵列，显著提高了频谱效率。通过多天线同时收发数据，大规模 MIMO 能够实现空间复用和分集增益，在相同的频谱资源下传输更多的数据，提升网络容量和覆盖范围 [7]。

2.2.3 网络切片

网络切片技术允许根据不同业务需求，在同一物理网络上动态划分出多个虚拟网络切片。每个切片可独立配置网络资源，如带宽、时延、可靠性等，从而为不同类型的业务提供定制化的网络服务。例如，对于高清视频业务，可分配较大的带宽资源；对于工业控制业务，则重点保障低时延和高可靠性。

2.2.4 边缘计算

边缘计算将数据处理能力下沉至网络边缘，靠近数据源的位置。通过在基站、路由器等边缘设备上部署计算资源，边缘计算能够减少数据在网络中的传输距离和时间，降低延迟。同时，边缘计算还可减轻核心网的负担，提高网络的整体性能和安全性。

3 光通信技术简介

3.1 光通信基本原理

光通信是利用光纤作为传输介质，采用激光或 LED 光源进行信息编码和传输的通信技术。其基本原理是将电信号转换为光信号，通过光纤进行传输，在接收端再将光信号转换回电信号。光纤由纤芯、包层和涂覆层组成，纤芯用于传输光信号，包层的折射率低于纤芯，能够使光信号在纤芯中通过全反射的方式进行传输，从而实现长距离、低损耗的数据传输。

相比于传统电缆，光纤具有诸多优势。光纤的带宽潜力巨大，能够满足未来高速数据传输的需求；其信号保真度高，传输过程中信号衰减极小，适合长距离传输；此外，光纤还具有抗电磁干扰能力强、保密性好等特点，能够为数据传输提供稳定、安全的保障。

3.2 光通信在 5G 中的作用

尽管 5G 无线通信在短距离内能够提供高速、灵活的接入服务，但在核心网层面，光通信仍是保证海量数据高效传输的关键技术。在数据中心互联方面，随着云计算和大数据的快速发展，数据中心之间的数据交互量急剧增加，光通信的高带宽、低损耗特性能够满足数据中心之间高速、稳定的数据传输需求。在城域网扩展中，光通信技术能够实现城市范围内的广域覆盖，为 5G 基站提供可靠的回传链路，确保基站之间的数据传输畅通无阻。此外，在骨干网建设中，光通信更是承担着连接不同地区、不同网络的重任，是整个通信网络的核心枢纽。

4 5G 无线通信与光通信的融合

4.1 技术融合的必要性

随着物联网、虚拟现实、增强现实等新型业务的兴起，对网络性能提出了前所未有的高要求。这些新型业务不仅需要高速的数据传输速率，还对网络的低时延、高可靠性和广连接能力有着严格的标准。单纯依靠无线通信手段，虽然能够实现灵活的接入，但在长距离、大容量的数据传输方面存在局限性；而仅依赖有线光通信，又无法满足移动场景下的通信需求。因此，5G 无线通信与光通信的融合势在必行，二者协同工作能够充分发挥各自的优势，形成互补，为新型业务提供全面、优质的网络服务。

4.2 主要融合方案

无线接入网（RAN）与光传送网（OTN）集成：通过构建统一的管理平台，实现对无线接入网和光传送网的资源优化配置。该平台能够根据业务需求和网络状态，动态分配无线和光网络资源，提高网络资源利用率。同时，RAN 与 OTN 的集成还可实现不同网络之间的无缝切换，保障用户在移动过程中的通信连续性。

微波光子学：微波光子学技术将微波信号转换成光信号进行传输，有效解决了传统微波通信中频率受限的问题。通过利用光通信的高带宽特性，微波光子学能够实现大容量、长距离的微波信号传输，同时降低信号传输损耗和干扰。这一技术在5G基站回传、卫星通信等领域具有广阔的应用前景。

混合 PON 架构：混合 PON 架构整合了无源光网络（PON）与无线接入点，通过将 PON 的高带宽、低成本优势与无线接入的灵活性相结合，提升用户接入体验。在混合 PON 架构中，用户可以根据实际需求选择有线或无线接入方式，实现网络接入的多样化和个性化。

4.3 应用实例分析

在智慧城市建设中，5G 无线通信与光通信的融合发挥了重要作用。以某城市为例，通过在城市各区域密集部署小基站，并借助光纤回传链路将小基站连接至核心网，实现了城市范围内的无缝覆盖。小基站能够为用户提供高速的 5G 无线接入服务，满足市民对移动互联网的需求；而光纤回传

链路则确保了小基站与核心网之间的数据快速传输，保障了网络的稳定性和可靠性。此外，通过 5G 与光通信的融合，城市中的各类智能设备，如智能交通信号灯、环境监测传感器等，能够实现实时数据采集和传输，为城市的智能化管理提供有力支持。

在智能制造领域，5G 与光通信的结合为企业数字化转型提供了强大动力。某汽车制造企业引入 5G 与光通信融合技术，在生产车间部署 5G 基站和光纤网络。5G 网络实现了生产设备之间、设备与控制系统之间的无线连接，使得设备能够实时上传运行数据和状态信息，便于企业进行远程监控和管理。同时，光通信网络确保了生产数据的高速、稳定传输，为企业的大数据分析和智能决策提供了可靠保障。通过 5G 与光通信的融合，该企业实现了生产过程的自动化、智能化，提高了生产效率和产品质量，降低了生产成本。

5 面临的挑战与对策

5.1 技术兼容性

5G 无线通信与光通信融合过程中，面临着不同制式间接口不匹配等技术兼容性问题。例如，5G 基站与光传送网设备之间的接口协议存在差异，导致数据传输效率低下，甚至出现数据丢失的情况。为解决这一问题，需要制定统一的标准规范，明确不同设备之间的接口协议、数据格式和传输要求，促进不同技术之间的互联互通。同时，加强设备制造商之间的合作与交流，推动设备的标准化设计和生产，提高设备的兼容性和互操作性。

5.2 成本效益

5G 与光通信融合的建设费用高昂，成为限制其大规模推广的重要因素。建设 5G 网络需要大量的基站设备、光纤铺设和网络优化，而光通信网络的建设和升级也需要投入巨额资金。此外，融合技术的研发和维护成本也相对较高。为提高成本效益，应积极探索经济可行的商业模式。例如，通过引入社会资本参与通信网络建设，减轻运营商的资金压力；开展多元化的业务合作，如与互联网企业、行业用户合作，共同开发增值业务，实现收入多元化；优化网络规划和建设方案，采用先进的技术和设备，提高网络资源利用率，降低建设和运营成本。

5.3 安全保障

随着 5G 与光通信融合网络的不断发展，网络安全威胁日益严峻。融合网络面临着来自无线和有线两个层面的安全风险，如黑客攻击、数据泄露、恶意软件传播等。为确保信息安全，必须加强防护措施。一方面，加强网络安全技术研发，采用先进的加密技术、入侵检测技术和防火墙技术，提高网络的安全性和防护能力；另一方面，建立健全网络安全管理制度，加强用户身份认证和授权管理，规范数据使用和传输流程，提高用户的网络安全意识，共同维护网络安全环境。

6 未来发展趋势展望

6.1 向 6G 迈进

下一代通信系统 6G 将继续深化无线与光通信的融合，并探索太赫兹频段及量子通信等新技术。太赫兹频段具有更高的带宽和更短的波长，能够实现更高速的数据传输；量子通信则具有绝对安全性，能够为未来通信提供可靠的安全保障 [8]。6G 将在 5G 的基础上，进一步提升网络性能，满足未来智能社会对通信技术的更高需求。

6.2 行业标准化

为促进 5G 无线通信与光通信融合技术的健康发展，国际组织正加紧制定相关标准。行业标准化将有助于统一技术规范，提高设备兼容性，促进产业链上下游协同发展。通过制定统一的标准，不同企业的产品和技术能够更好地相互协作，降低研发和生产成本，推动融合技术的广泛应用和产业升级。

6.3 开放创新生态

鼓励跨学科合作，构建开放共享的研发环境，将成为未来推动 5G 与光通信融合技术创新的重要方向。通信技术的发展涉及多个学科领域，如电子工程、计算机科学、光学等。通过加强跨学科合作，整合不同领域的技术和人才优势，能够加速技术创新步伐，开发出更具创新性和实用性的融合技术和应用。同时，开放共享的研发环境能够促进知识和技术的交流与传播，激发创新活力，推动通信行业的持续发展。

7 结论

5G 无线通信与光通信的融合发展是应对未来超高带宽需求、推动通信网络演进的重要途径。尽管现阶段在技术兼容性、成本效益和安全保障等方面面临诸多挑战，但随着技术的不断革新和政策法规的逐步完善，5G 与光通信的融合有望实现更广泛的应用落地。通过持续的研究和探索，不断优化融合技术方案，加强行业合作与标准制定，构建开放创新生态，将为我国乃至全球通信事业的发展注入新的动力，推动通信技术迈向更高的发展阶段。

参考文献

[1] 李远.5G毫米波车地无线通信技术在城市轨道交通中的运用研究[J].自动化应用,2025,66(02):250-252+264.

[2] 冯猛.5G技术应用于地铁无线通信系统的探讨[J].中国宽带,2025,21(01):121-123.

[3] 南作用,钟志刚,陈任翔,王亚,申凌峰.基于5G无线通信的多层实时网络数据加密传输方法[J].电子设计工程,2024,32(23):57-60+65.

[4] 潘迟龙.5G无线通信技术与网络安全研究[J].信息记录材料,2024,25(09):34-36.

[5] 陆南昌,蔡厚恩,赖宇.基于5G无线通信技术的无线网络安全通信防御技术研究[J].通讯世界,2024,31(08):37-39.

[6] 陈军伟,周瑞志,李恒,张倍尧,杨明望,汪廷舶.5G无线通信技术在热工设备运维中的应用[J].电子技术,2024,53(06):148-149.

[7] 饶文.基于5G无线通信系统的关键技术分析[J].科技与创新,2024(03):162-164.

[8] 赵志强.浅析光通信传输技术的应用[J].石河子科技,2023(06):24-25.