

低功耗广域网在物联网通信中的应用研究

戴定卫

深圳市欣博跃电子有限公司, 广东 深圳 518000

DOI: 10.61369/ERA.12267

摘 要 : 低功耗广域网 (LPWAN) 是一种针对物联网应用的通信技术, 能够实现大范围、低功耗、高可靠性的设备连接。随着物联网设备的快速增长, LPWAN 在远程监控、智能城市、农业等领域的应用日益广泛。LPWAN 采用低数据速率和节能技术, 显著延长了设备的电池使用寿命, 同时确保了大范围内的稳定通信。通过对 LPWAN 的特点、优势以及应用场景的分析, 能够为未来物联网通信系统的优化和发展提供指导。

关 键 词 : 低功耗广域网; 物联网; 通信技术; 远程监控; 智能城市

Research on the Application of Low-Power Wide Area Network in IoT Communication

Dai Dingwei

Shenzhen Xinboyue Electronics Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract: Low-Power Wide Area Network (LPWAN) is a communication technology designed for Internet of Things (IoT) applications, enabling widespread, low-power, and highly reliable device connectivity. With the rapid growth of IoT devices, LPWAN's applications in remote monitoring, smart cities, agriculture, and other fields are becoming increasingly widespread. LPWAN utilizes low data rates and energy-saving technologies, significantly extending the battery life of devices while ensuring stable communication over large areas. By analyzing LPWAN's characteristics, advantages, and application scenarios, it can provide guidance for the optimization and development of future IoT communication systems.

Keywords: Low-Power Wide Area Network; Internet of Things; communication technology; remote monitoring; smart city

随着物联网技术的迅速发展, 设备数量的激增和通信需求的多样化对传统通信技术提出了挑战。低功耗广域网 (LPWAN) 作为一种新兴的物联网通信技术, 以其广覆盖、低能耗和长续航的优势, 成为解决这些问题的理想选择。从智能城市到农业监控, LPWAN 正在推动着物联网应用的广泛落地。探索其在各个领域的应用, 不仅有助于提升现有通信系统的效能, 也为未来智能化时代的到来奠定了坚实的基础。

一、低功耗广域网技术概述与发展趋势

低功耗广域网 (LPWAN) 是一种针对物联网设备设计的无线通信技术, 具有覆盖范围广、能效高和成本低等显著特点。随着物联网的迅猛发展, 设备数量的激增以及对远程监控、智能城市、智能交通等多种应用需求的增长, 传统的通信技术面临着诸多挑战。LPWAN 以其低功耗、长续航、广覆盖的优势, 成为解决这些问题的理想选择。与现有的蜂窝通信网络相比, LPWAN 采用低数据速率并优化了能量消耗, 使得物联网设备能够在不频繁更换电池的情况下, 长期稳定地运行^[1]。

LPWAN 的关键优势在于其独特的通信方式和节能技术。通过使用窄带传输、较低的数据传输速率以及高效的频谱利用方式, LPWAN 能够在远距离范围内提供稳定的通信, 极大地提高了物联网设备的连接性与稳定性。在传输方式上, LPWAN 技术支持多种协议, 其中最为典型的如 LoRa、NB-IoT、Sigfox 等。

这些协议采用了不同的频段和调制方式, 满足了各类应用对数据传输速度、覆盖范围和延时的不同需求。LPWAN 技术的核心优势之一就是其超低功耗特性, 使得物联网设备可以在几年的时间里无需更换电池, 这对于大规模部署物联网应用, 尤其是在无法频繁维护的偏远地区具有重要意义。

在发展趋势方面, 随着物联网设备的数量不断增加, 对 LPWAN 技术的需求也愈加强烈。智能城市、智慧农业、智能医疗等新兴应用领域正在积极推动 LPWAN 技术的发展和创新。例如, 在智能城市的建设中, LPWAN 技术可以为各类传感器设备提供高效的连接方案, 实现对环境、交通、能源等各方面的实时监控和管理。在农业领域, LPWAN 能够支持精准农业、智能灌溉、土壤监测等技术, 帮助农民提高生产效率、降低成本。在医疗领域, LPWAN 技术则有助于实现远程健康监测、病患跟踪和设备管理, 尤其是在偏远地区, 能够有效提高医疗服务的覆盖率和质量^[2]。随着 5G、人工智能等新兴技术的融合, LPWAN 技术

的应用场景将更加广泛，进一步推动物联网的智能化发展。

二、LPWAN 在物联网通信中的优势与挑战

低功耗广域网（LPWAN）作为物联网通信中的关键技术，具有许多显著优势，使其在大规模部署物联网应用时表现出色。LPWAN 的最大优势是低功耗特性，这使得物联网设备能够在极长的时间内运行而无需频繁更换电池，甚至可持续数年。通过低数据速率和高能的能量管理机制，LPWAN 能够减少功耗并延长设备的使用寿命，这对于大规模的传感器网络尤其重要^[3]。在需要大范围部署物联网设备的场景中，低功耗带来了显著的经济效益和维护便利性。与传统的高功耗通信方式相比，LPWAN 的低能耗为用户节省了能源开销并降低了设备运行成本。

LPWAN 具有广覆盖的特点，能够支持广泛的物联网应用。相较于 Wi-Fi 和蓝牙等短距离通信技术，LPWAN 能够在数公里范围内提供稳定的通信。这使得它在远程监控和覆盖范围较广的应用场景中具有独特的优势，尤其是在城市基础设施、农业监控和环境监测等领域^[4]。通过优化的调制技术和频谱利用，LPWAN 不仅能在城区密集的环境中有效工作，还能够在偏远地区实现数据传输，弥补了传统通信网络的空白。此外，LPWAN 的高覆盖范围和低延迟特性为物联网设备的长期稳定连接提供了强有力的支持，确保设备在长时间内高效运行。

然而，尽管 LPWAN 在物联网通信中具有诸多优势，但也面临一些挑战。首先，LPWAN 的传输速率相对较低，这意味着它并不适合需要大量数据传输的应用。例如，在需要实时视频流或大数据传输的场景中，LPWAN 可能无法满足高带宽需求。此外，LPWAN 频谱资源的争夺也是一个潜在问题。由于 LPWAN 在不同国家和地区使用的频段不同，可能会受到频谱管理和分配的限制，尤其是在公共频段的使用上，可能会遇到与其他通信技术的冲突。在技术标准方面，尽管已经有如 LoRa、NB-IoT、Sigfox 等协议的支持，但不同的 LPWAN 技术标准仍然存在一定的互操作性问题，限制了跨平台应用的普及。

三、低功耗广域网的关键技术与实现机制

低功耗广域网（LPWAN）技术的实现依赖于一系列关键技术，以确保其能够在广泛的物联网应用中提供低能耗、高覆盖范围和长时效性的通信服务。LPWAN 通过采用低数据速率和高能的调制技术来降低能耗。通过优化数据传输速率，LPWAN 可以将能量消耗控制到最低，而不牺牲通信的可靠性。与传统的蜂窝通信技术不同，LPWAN 不要求高频次的数据交换，而是采用适合低频率、低带宽需求的通信方式，这样大幅降低了功耗。其低数据速率的特性使得设备能够在长时间内持续工作，尤其是在电池供电的场景下，能够延长电池的使用寿命^[5]。

LPWAN 的覆盖范围是其核心优势之一。为了实现长距离的通信，LPWAN 采用了高效的频谱利用技术。在频段选择上，LPWAN 可以在非授权频谱上工作，例如 LoRa 采用的 915 MHz

或 868 MHz 频段，以及 NB-IoT 的 700 MHz 至 2.1 GHz 的频段。这些低频段具有较强的穿透力，能够在城市密集区、乡村以及地下等恶劣环境中提供可靠的通信信号。为了进一步提升覆盖范围，LPWAN 还采用了扩频技术，如 LoRa 采用的 Chirp Spread Spectrum（CSS）技术，能够在噪声较大的环境下依然保持良好的信号质量。通过这些技术，LPWAN 能够为广泛的物联网设备提供稳定的通信连接，无论是在人口稠密的城市区域，还是在人迹罕至的偏远地区。

除了频谱利用和低功耗外，LPWAN 还通过采用智能的网络拓扑结构和通信协议，进一步提升了其在物联网中的应用效率。LPWAN 通常采用星形网络拓扑结构，在这种结构中，终端设备通过短距离无线连接与基站通信，基站负责数据的转发和处理。这种方式能够有效减少中继节点的数量，降低网络的复杂性，进而减少了通信的功耗和成本。在协议层面，LPWAN 协议如 LoRa、NB-IoT 和 Sigfox 等，采用了针对物联网场景设计的协议栈，确保了低功耗设备能够以最小的通信开销接入网络^[6]。这些协议通过采用低开销的信令、周期性唤醒和传输机制，进一步优化了能量管理，确保设备在不频繁传输数据的情况下，仍能与网络保持长时间的连接。

LPWAN 的关键技术包括低数据速率传输、频谱高效利用、扩频技术和智能网络拓扑结构等。这些技术的结合，使得 LPWAN 能够在物联网环境中实现长时间、高效率的通信。尽管 LPWAN 技术在传输速率上较为有限，但通过不断优化其协议和应用场景，LPWAN 依旧为许多低带宽、长距离通信的应用提供了理想的解决方案。随着技术的不断进步，LPWAN 将在未来物联网中扮演越来越重要的角色，特别是在智能城市、智慧农业和远程监控等领域。

四、低功耗广域网在智能城市中的应用前景

低功耗广域网（LPWAN）在智能城市的应用前景非常广阔，随着城市化进程的加速以及物联网技术的不断发展，智能城市对高效、低能耗的通信技术需求日益增加。LPWAN 能够提供广覆盖、低功耗的通信能力，特别适用于那些需要广泛分布、长时间持续运行的物联网设备。在智慧城市建设中，各种传感器和智能设备需要无缝地连接和长时间稳定运行，而 LPWAN 正好满足了这一需求。通过 LPWAN，城市中的各种基础设施，如路灯、交通信号灯、公共设施等，都能够通过物联网连接，实现智能化管理和远程监控^[7]。

LPWAN 在智能城市中的一个重要应用场景是智能交通。随着城市交通流量的增加，传统的交通管理方式已经难以满足现代城市的需求。通过 LPWAN 技术，可以在交通信号灯、车载设备和路边监控设备之间建立低功耗、广覆盖的通信网络。交通管理系统能够实时监测交通流量、路况变化，并根据数据调整信号灯的工作模式，优化交通流量，减少交通拥堵。这种基于 LPWAN 的智能交通系统，不仅能够提高城市交通管理效率，还能够大幅降低能源消耗，提高交通系统的可持续性。

LPWAN 在智能城市中的应用还包括环境监测、能源管理和公共安全等领域。通过部署低功耗的传感器网络, LPWAN 可以实现城市空气质量、噪声、温度、湿度等环境参数的实时监测, 为城市规划和治理提供重要数据支持。在能源管理方面, LPWAN 技术能够实现对建筑物、街道照明系统等的智能控制, 帮助节能减排。在公共安全领域, LPWAN 能够支持智能安防系统, 实时传输监控视频和警报信息, 确保城市的安全性^[8]。由于其长续航和低功耗特性, LPWAN 可以在这些领域的长期、稳定运行中发挥重要作用, 避免频繁更换电池或维护设备的麻烦。

LPWAN 在智能城市中的应用前景非常广阔。随着智慧城市建设的深入, LPWAN 技术将为城市提供更加智能、高效、可持续的基础设施管理解决方案。尽管 LPWAN 在传输速率方面存在一定限制, 但其低功耗、大覆盖的优势使其成为智能城市中物联网应用的理想选择。随着技术发展, LPWAN 将在更多领域应用, 推动智能城市向更智能、自动化方向发展。

五、LPWAN 在远程监控和农业领域的实际应用案例

低功耗广域网 (LPWAN) 技术在远程监控和农业领域的应用已经取得了显著的进展。以 LoRa 和 NB-IoT 为代表的 LPWAN 技术, 因其低功耗、大范围的覆盖能力, 成为实现远程监控和智能农业的理想选择。一个典型的应用案例是西班牙的智能灌溉系统。该系统利用 LoRa 技术将数千个土壤湿度传感器与中央控制系统连接, 能够实时监测土壤湿度、温度等数据, 并根据天气变化自动调节灌溉设备的开启和关闭。这种智能灌溉系统不仅帮助农民节约了水资源, 还大大提高了农业生产效率^[9]。同时, LPWAN 的低功耗特性使得传感器能够在户外环境中持续工作几年而无需更换电池, 减少了维护成本。

另一个真实案例是在澳大利亚, LPWAN 技术被广泛应用于远程牧场监控系统。在广袤的牧场中, LPWAN 通过 LoRa 网络连

接各类传感器, 实现对牲畜的实时监控。这些传感器能够跟踪牛群的位置、健康状况以及环境因素, 如温湿度等, 所有数据通过低功耗广域网传输至中央服务器。农场主能够在手机或电脑上实时查看数据, 及时调整饲养策略, 甚至通过远程设备控制牧场设施的开关。这种智能牧场监控系统大大减少了人工巡查的时间和成本, 提高了生产效率, 并且使得管理更加精细化。

在中国, LPWAN 在农业领域的应用也日益普及, 尤其在智能农业温室的管理中展现了巨大的潜力。通过部署 NB-IoT 或 LoRa 传感器, 温室内的温度、湿度、CO₂ 浓度等关键环境参数可以被实时监测并自动调节。例如, 在浙江省某智能温室内, 农民通过 LPWAN 技术实现了温室内部环境的远程控制。系统会根据实时数据自动调节温度和湿度, 并根据作物的生长需求进行精准管理, 从而提高了农作物的产量和质量。同时, LPWAN 技术使得这些传感器能够在恶劣的温室环境中稳定运行多年, 减少了传统设备维护的频率和成本。

这些实际案例展示了 LPWAN 技术在远程监控和农业领域的广泛应用。其低功耗、大覆盖、高可靠性的特点, 使得 LPWAN 成为推动智能农业和远程监控系统发展的关键技术^[10]。随着技术的进一步成熟和应用场景的不断扩展, LPWAN 在农业和远程监控领域的潜力将得到进一步挖掘, 为农业生产的智能化、精细化管理提供更强有力的支持。

六、结语

低功耗广域网 (LPWAN) 作为物联网通信的核心技术, 凭借其低功耗、大覆盖、长续航的优势, 已在智能城市、农业、远程监控等领域取得显著应用。尽管面临传输速率和频谱资源等挑战, 但随着技术的不断发展, LPWAN 将在未来物联网生态系统中发挥越来越重要的作用。其广阔的应用前景将为各行业带来更智能、高效的解决方案, 推动物联网的进一步普及与发展。

参考文献

- [1] 梁远江. 计算机硬件及网络技术在物联网通信中的应用与研究 [J]. 数字技术与应用, 2017(02): 66. DOI: 10.19695/j.cnki.cn12-1369.2017.02.046.
- [2] 王东升. 物联网无线通信技术应用研究 [J]. 通讯世界, 2019, 26(04): 124-125.
- [3] 谭程宏. 物联网中基于双向握手身份认证的应用与研究 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2019(11): 118-119+168. DOI: 10.16184/j.cnki.comprg.2019.11.042.
- [4] 徐祝庆. 低功耗广域网环境下支持高并发通信的传输优化机制研究 [D]. 东南大学, 2022. DOI: 10.27014/d.cnki.gdnau.2022.003644.
- [5] 刘佳. 基于低功耗广域网的传感器网络通信方案 [J]. 中国宽带, 2023, 19(06): 10-12.
- [6] 陈博静. 基于低功耗广域网的智能物联网终端一体化架构设计与应用 [D]. 杭州电子科技大学, 2024. DOI: 10.27075/d.cnki.ghzdc.2024.000123.
- [7] 毛文量. 低功耗广域网的组网和传输机制研究 [D]. 电子科技大学, 2024. DOI: 10.27005/d.cnki.gdzku.2024.000234.
- [8] 盛家振, 马建国, 穆丹萍, 李伟. 基于电力物联网的 Lora 通信关键技术的研究 [J]. 日用电器, 2024(07): 69-73+89.
- [9] 童率, 王继良. 低功耗广域网 LoRa 技术进展与研究挑战 [J]. 电子学报, 2024, 52(10): 3623-3642.
- [10] 朱斌, 黄迪, 罗少杰, 郑伟彦, 周斌. 低功耗广域网在电力物联网中的应用 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(11): 228-229. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2024.11.106.