**重庆邮电大学《计算机网络》课程报告**

**2024-2025学年第 1 学期**

**题 目 物理层前沿——毫米波**

**姓 名 杨鑫睿**

**学 号 2022211798**

**专 业 计算机科学与技术**

**班 级 04012202**

**成 绩**

**2024年 12 月 15 日**

# 物理层前沿——毫米波

**摘 要：**从互联网的普及到物联网的兴起，计算机网络的技术创新始终是推动社会进步的重要力量。近年来，毫米波技术在计算机网络物理层的应用，引起了业界的广泛关注。本文旨在介绍计算机网络物理层前沿技术——毫米波。首先，概述了毫米波技术的发展背景与基本概念；其次，分析了毫米波技术高带宽和低延迟通信等优势；接着，介绍了毫米波技术在5G通信和WiGig中的应用；然后指出其所面临的传输距离短与易受天气影响的问题；最后对本文进行总结。

**关键词：**计算机网络，毫米波，物理层

## 1毫米波技术概述

1.1毫米波技术的发展背景

随着移动通信和互联网的快速发展，对无线频谱资源的需求也急剧增长。传统的射频频段，如Sub-6 GHz，已经变得拥挤，无法满足未来通信的高带宽需求。为了满足5G及未来通信网络的高数据传输速率、低延迟和大连接数的需求，需要开发新的频谱资源。毫米波频段因其丰富的频谱资源和宽带的特性，成为了理想的候选频段。同时，随着半导体工艺、信号处理等技术的进步，毫米波通信设备的制造成本降低，性能提升，使得毫米波技术的商用成为现实。预计从现在到2028年，移动数据流量将会增长4倍。截至到2023年3月，爱立信已在全球范围内交付了超过10万台5G毫米波设备。2022年，商业化的5G毫米波设备的数量增加了40%[1]。

1.2毫米波技术概念

毫米波，指的是频率在30到300GHz之间的电磁波，具有带宽宽、方向性好、抗干扰能力强等特点，其位于微波与远红外波相交叠的波长范围，因此兼有两种波谱的特点[2]。毫米波的技术与理论分别是光波向低频和微波向高频的延伸的发展。在无线通信中，该术语通常对应于38、60以及94GHz附近的几个频带，美国联邦通信委员会早在2015年就已经率先规划了28 GHz、37 GHz、39 GHz 和 64-71 GHz四个频段为美国5G毫米波推荐频段，目前24.75-27.5GHz，37-42.5GHz是中国主推的毫米波频段。

## 2毫米波技术的优势

2.1 极高的带宽

毫米波的频率范围大约在30 GHz到300 GHz之间，带宽超过从直流到微波全部带宽的10倍。即使考虑大气吸收，其在大气中传播时通常只能使用四个主要窗口，但这四个窗口的总带宽可以达到135GHz，是微波以下各波段带宽之和的5倍。同时极宽的带宽也使得其数据传输率更高，带宽和数据传输速率成正比。毫米波的宽频带特性使得它可以支持更高的数据传输速率，这对于高清视频流、虚拟现实、大文件传输等数据密集型应用十分重要。

2.2 传输质量高

毫米波的波长较短，因此其天线可以制作得很小，同时保持较小的波束宽度。窄波束可以有效地指向接收器，减少与其他信号或设备的干扰，从而提高信号的传输质量。同时又由于高毫米波频段通信基本上没有干扰源，电磁频谱十分干净。因此，毫米波信道非常的稳定可靠，其误码率可长时间保持在这一量级，并可与光缆的传输质量相媲美。

2.3 毫米波元器件尺寸小

根据电磁波的传播公式，其中c是光速，𝑓是频率，𝜆是波长。对于频率在30 GHz到300 GHz之间的毫米波，其对应的波长在1毫米到10毫米之间。而天线的大小通常与波长相近或为其整数倍，以便有效地辐射和接收电磁波。因此，毫米波的波长较短，相应的天线和其他射频元器件的尺寸也可以做得较小。这意味着毫米波元器件允许在较小的空间内集成更多的收发器、天线和其他网络设备，从而提高网络设备的集成度和性能。小尺寸的毫米波元器件也使得设备更加轻便，这也是毫米波技术为何成为当下计算机网络物理层前沿技术的原因之一。

## 3毫米波技术的应用

3.1 5G高速移动通信

毫米波等高频段技术在宏微结合的网络架构中，特别是在微基站的覆盖方面，发挥着至关重要的作用。通过与双连接技术、小区扩展技术等高级技术的紧密融合，毫米波通信显著提升了移动性，从而满足了5G网络在用户体验速率和移动性方面的严格标准。在高速移动的环境中，毫米波通信能够为用户带来高带宽和低延迟的优质服务，确保在高速移动的场景下，通信需求也能得到充分满足。高速移动通信场景对网络的延迟和带宽提出了更高的要求，而毫米波通信凭借其高频带宽的显著优势，能够实现超过10 Gb/s的传输速度，完美适应高清视频通话、在线游戏等高带宽应用的需求。例如，在高速铁路的应用场景中，28 GHz的毫米波通信能够稳定提供5 Gb/s的传输速率，保障乘客在高铁旅行中也能享受到流畅的网络体验。

3.2 无线千兆比特（WiGig）

WiGig是指无线千兆比特联盟推出的一项无线通信技术标准，其正式名称为802.11ad，是Wi-Fi技术的一个补充。WiGig提供极高的数据传输速率，达到多个Gbps的速度。其物理层采用了毫米波频段，WiGig标准定义在60 GHz的频段上操作，这个频段属于毫米波的范畴。毫米波频谱提供了极高的带宽，这使得WiGig能够支持高达7 Gbps的数据传输速率，这是传统的Wi-Fi技术所无法达到的速率。该技术在物理层层面同时满足了WiGig设备对低功耗和高稳定的要求，可确保设备的互操作性和千兆以上速率的通信。

## 4毫米波技术面临的挑战

4.1 传输距离与障碍物穿透问题

毫米波通信面临的主要挑战之一是其传输距离较短且对障碍物的穿透能力相对有限[3]。毫米波的波长较短，因此信号在传播的过程中容易被建筑物和树木等障碍物所阻挡，从而导致传输距离大幅减少。这一缺点使得毫米波通信在实际部署中遭遇了一些挑战。由于传输距离的局限性，使得毫米波通信系统需要更加密集的基站布局，尤其是在城市环境中，增加了网络建设的成本和复杂性。其次，对于室内覆盖而言，毫米波信号难以穿透墙壁和窗户等建筑结构，限制了其在室内环境中的应用。

4.2 天气对传输性能的影响

与微波相比，毫米波信号在恶劣的气候条件下，尤其是降雨时的衰减要大许多，这对信号传播效果产生了重大影响。经过研究[4]得出的结论是，毫米波信号降雨时衰减大小与降雨的距离长短、瞬时强度和雨滴形状密切相关。有进一步的验证表明：在通常情况下，降雨的瞬时强度越大、雨滴越大、距离越远，衰减也就越严重。为了应对天气条件对通信的影响，需要利用功率控制和链路自适应技术，实时调整传输参数，这增大了毫米波技术的实现难度。

## 5总结

毫米波技术的崛起，是计算机网络飞速发展的重要支撑之一。其显著的三大特点——极高的带宽、卓越的传输质量以及短波长带来的小型元件尺寸，共同构成了超高速通信的稳固基石，推动了5G与无线千兆比特技术（WiGig）的实际应用。然而，毫米波的传输挑战和易受天气影响的问题仍然是技术突破的关键。解决这些难题，以优化毫米波在计算机网络物理层的应用，将是未来研究和创新的重要方向。相信通过持续的技术创新和应用优化，毫米波将为未来的智能城市、自动驾驶、虚拟现实等场景提供强大而可靠的通信保障，带来更加高效、智能的网络体验。

### 参考文献

1. 刘晓勇,宫剑,朱林等.5G毫米波现状研究和测试挑战分析[J].电力信息与通信技术,2023,21,(8):8-15.DOI:10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2023.08.02.
2. 阮成礼编著.毫米波理论与技术[M].成都：电子科技大学出版社,2001:427页.
3. 陈庆浩,闫张伟.毫米波通信技术在5G中的应用与挑战[J].通信电源技术,2024,41,(19):149-151.DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2024.19.050.
4. 杨瑞科,高霞,武福平等.5G毫米波降雨动态衰减模拟研究[J].光子学报,2021,50,(10):328-334.DOI:10.3788/gzxb20215010.1006004.