



国际信息工程先进技术译丛



WILEY

www.wiley.com

实现吉比特传输的 60GHz无线通信技术

**60GHz Technology for Gbps WLAN
and WPAN: From Theory to Practice**

Su-Khiong Yong

(美)

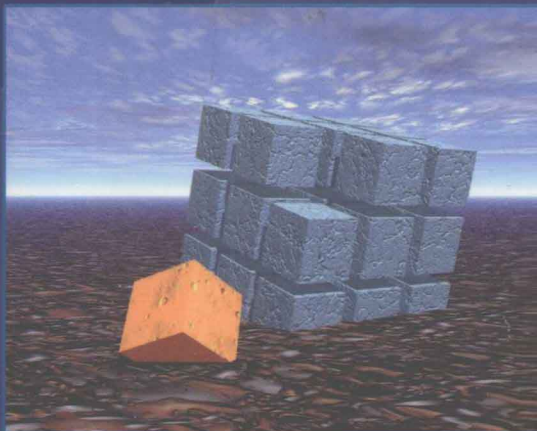
Pengfei Xia 编著

Alberto Valdes-Garcia

邹卫霞 许方敏 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

实现吉比特传输的 60GHz 无线通信技术

Su- Khiong Yong

(美) Pengfei Xia 编著

Alberto Valdes- Garcia

邹卫霞 许方敏 等译



机械工业出版社

本书全面介绍了目前 60GHz 无线通信的关键技术,包括传播信道、波束赋形、模拟电路设计、射频架构等,并结合实际场景和系统的设计中的很多案例进行了分析。此外,本书结合国际标准化研究进展提供了最新的标准动向、监管问题、技术发展以及未来导向。

本书可作为系统工程师、IC 设计人员、标准工程师/研究人员、供应商和消费制造商等的参考书。

60GHz TECHNOLOGY For Gbps WLAN and WPAN: Form Theory to Practice, by Su-Khiong (SK) Yong, Pengfei Xia and Alberto Valdes-Garcia.

All Rights Reserved. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with China Machine Press and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

Copyright © 2011 by John Wiley & Sons. , Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

本书中文简体字版由机械工业出版社出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有,翻印必究。

本书版权登记号:图字 01-2012-1008 号

图书在版编目(CIP)数据

实现吉比特传输的 60GHz 无线通信技术/(美)夏鹏飞(Xia, P. F.)等编著;邹卫霞等译. —北京:机械工业出版社,2012.12

(国际信息工程先进技术译丛)

书名原文:60GHz Technology for Gbps WLAN and WPAN: From Theory to Practice
ISBN 978-7-111-40130-8

I. ①实… II. ①夏…②邹… III. ①无线电通信-通信技术-研究 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 251932 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:任鑫

版式设计:霍永明 责任校对:肖琳

封面设计:马精明 责任印制:张楠

中国农业出版社印刷厂印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·15 印张·299 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-40130-8

定价:69.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版



译者序

在当前无线通信频谱资源越来越紧张,以及数据传输速率要求越来越高的必然趋势下,60GHz 技术凭借其高达数 GHz 的免许可传输带宽及高数据传输速率等诸多独有特性,以绝对传输优势脱颖而出,成为无线短距高速传输中最具应用潜力的技术,同时也成为无线通信领域最具前瞻性研究的新热点。目前,针对 60GHz 高速无线通信,国际上主要有 5 个标准,分别是 ECMA-387、IEEE 802.15.3c、Wireless HD、IEEE 802.11ad 和 WiGig Alliance。我国也早于 2009 年在中国无线个域网(China WPAN, C-WPAN)标准工作组启动了相关标准的预研工作。2012 年 7 月 IEEE 802.11 工作组根据我国提出的毫米波建议批准成立 IEEE 802.11aj 任务组,旨在基于我国已批准的频段 59GHz~64GHz 频段及正在申请的 43.5GHz~47GHz 频段,从物理(PHY)层、媒体访问控制(MAC)层和应用层角度全方位提出毫米波系统的总体要求,从而建立更加符合我国市场需求的毫米波标准。

作为最早出现的介绍 60GHz 无线通信的书籍之一,本书的作者都是从事 60GHz 国际标准物理层和 MAC 层的研究者,因此本书的主要特点是结合在无线局域网和个域网的国际标准研究进展和各国频率规划,突出 60GHz 技术存在的困难和挑战,并着重介绍了目前 60GHz 的演示系统架构和性能。

无论是对希望全面了解 60GHz 无线通信技术的读者,还是专门从事 60GHz 无线通信研究的科研人员,本书都是一本很好的参考书。

本书第 1~3 章由三星中国通信研究院的许方敏翻译,第 4~10 章由北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室的邹卫霞负责翻译,参与翻译工作的还有实验室的博士研究生杜光龙、王一搏,和硕士研究生胡玉聪、崔志芳、张芳、王振宇、王桂叶、徐艳艳、帅晋、王珍、黄建、康丰源等同学,最后由许方敏负责校订。此外,还要感谢三星中国通信研究院的孙程君、郑旭峰、周雷等同事的帮助。

机械工业出版社的张俊红编辑负责本书的选题、翻译质量和进度的控制,以及翻译思想的指导,在此予以衷心感谢。

欢迎各位读者对本书提供反馈意见,我们希望读者能从本书中受益,也希望通过读者的意见来了解自己的不足。

译者

原 书 前 言

自从马可尼在1901年进行从英格兰的康沃尔向加拿大的纽芬兰实验的第一次无线电波横跨大西洋传输开始,无线通信经历了巨大的发展。如今,无线通信系统已经成为人们日常生活的组成部分,并且不断演进以提供更好的质量和用户体验。

毫米波技术是近年来涌现出来的新型无线技术中最重要的技术之一。虽然在几十年前就已经提出毫米波技术,但是在过去的五六年中,随着半导体硅处理技术和低成本集成解决方案的突破,才使得毫米波技术真正从商业前景成为现实技术。因此,毫米波技术已经引起了学术界、产业界和标准化组织的极大兴趣。在本书中,我们主要集中在60GHz无线系统,该频段的有效利用使得很多在低频段无法实现的某些新应用成为可能。

60GHz技术与目前的通信系统相比有很多优点。其中,最重要的优点是在全球范围内提供了至少5GHz的连续带宽。与分配在免授权频带内的超宽带(UWB)技术相比,60GHz频段更加连续,并且对功率的限制更少。事实上,60GHz频带的大量带宽是在历史上分配的最大免授权频带之一。大量的带宽就意味着巨大的容量和灵活性,因此60GHz技术十分适合于吉比特无线应用。60GHz射频器件较小的尺寸也使得在用户终端上实现多天线方案成为可能,因为在低频段很难在用户终端上部署较多的天线。与5GHz系统相比,毫米波系统的成形因子为5GHz系统的 $1/140$,因此60GHz系统可以很容易地集成到消费电子产品中。

虽然具有上述优点,毫米波通信仍然面临着很多必须解决的挑战。本书概括了这些挑战,机遇和目前在实现60GHz系统各个层面上的解决方案。本书各章内容如下:

第1章介绍了60GHz技术。本章首先在发射功率、带宽和频谱效率等方面直接比较了60GHz技术和其他高数据传输速率的通信技术(例如UWB和IEEE 802.11n技术)。通过60GHz提供的吉比特数据传输速率已经可以实现一些在过去认为是很难实现的关键应用。然后介绍了世界范围内的管理规范 and 频率分配。最后,讨论了标准化的进展,并比较了这些标准的物理层特征。

第2章概述了60GHz信道建模,信道建模是60GHz无线通信系统可靠设计的基础。本章首先介绍了不同的建模方法以及这些方法在建模60GHz信道模型时各自的优缺点。然后讨论了大尺度和小尺度信道特征通用的建模架构,并且对参考文献中报道的信道结果进行了小结和全面的讨论。本章还讨论了用于多极化多天线的系统的60GHz极化建模方法。最后提供了通用信道模型的信道参数,尤其是在IEEE

802.15.3c 和 IEEE 802.11ad 中使用的信道模型以及各自的局限性。

第3章阐述了射频的非线性以及在设计 60GHz 无线通信系统时必须考虑到的非线性行为模型。本章首先概述了传统的射频模拟前端结构以及传统结构在 60GHz 系统中的可用性,同时还介绍了传统结构可能带来的射频非线性。然后简述了功率放大器的模型,以及其对系统性能的影响。

第4章讨论了天线阵列波束赋形技术。通过波束赋形能够实现在 60GHz 非视距 (NLOS) 信道中实现 Gbit/s 的吞吐量。首先简要分析了 60GHz 信道,传输/接收波束赋形被证明是 60GHz 信道中必须使用的技术。对于传输/接收波束成形,天线训练/跟踪算法在对抗非视距信道的衰落方面非常关键。本章提出了两种天线训练/跟踪方法:第一种是用于自适应天线阵列的迭代天线训练和跟踪方法;另一种则是用于开关天线阵列的分而治之训练和跟踪方法。

第5章介绍了在 60GHz 实现吉比特传输的基带调制。我们考虑实现高频谱效率传输的两种主要方案:正交频分复用 (OFDM) 和单载波分组传输 (SCBT)。第一部分简要介绍了 OFDM 技术,以及在设计 OFDM 系统时需要考虑的因素,同时还突出了在 60GHz 设计 OFDM 系统的难点。此外,还使用 IEEE 802.15.3c 音频、视频 (AV) OFDM 系统作为研究的实例,讨论了在基带设计中的一些问题,包括未压缩视频通信、物理层平等和不等错误控制方案、比特交织和多路传输方案以及音视频 OFDM 调制。第二部分主要介绍了频域均衡 (SC-FDE) 的 SCBT 系统,该系统提供了从超低速率到超高速率传输的鲁棒性。该部分首先介绍了在 60GHz 中使用单载波技术,接着介绍了在 IEEE 802.15.3c 标准中采用的方案。本章还介绍了包括发射机和接收机设计、非线性影响和均衡设计等系统方面的内容。最后讨论了单载波接收机的信号处理技术,包括信号采集、信道联合估计、载频偏移的精同步和 I/Q 不平衡参数、均衡、跟踪和译码。

第6章介绍了在硅芯片上实现高数据传输速率 60GHz 无线电的方案、技术和取舍,包括射频前端、混合信号 (模拟-数字) 接口和数字基带集成电路。本章首先概述了实现 60GHz 系统可用的各种硅芯片技术,并分析各自的优缺点。考虑到无线系统的链路预算主要取决于接收机的噪声指数和传输机的 P_{ldB} ,本章还归纳了目前的 60GHz 低噪声放大器和功率放大器。本章还介绍了单天线和多天线 (相位阵列) 系统的射频结构,并且分析了目前高速数-模、模-数转换器和调制器以及它们在吉比特系统中的应用。本章还讨论了单载波和 OFDM 调制射频设计中考虑的权衡因素和实现的准则。最后,本章展望了实现商业 60GHz 射频上存在的问题和挑战。

第7章介绍了单载波系统的硬件实现。首先给出了早期包括数字基带的单载波硬件实现案例,一个具有非相关检测,另一个是差分相关检测。接下来,讨论了如何实现更复杂的单载波系统来适合某个标准,例如 IEEE 802.15.3c。读者可以很

快地发现,一个合适的 60GHz 演示系统不仅是实现某个标准,而且还包括算法的研究,尤其是接收端的实现算法在实现强健的端到端 60GHz 系统中占据着重要的位置。

第 8 章阐述了在 60GHz OFDM 硬件演示系统中的考虑和设计问题。在引入了 OFDM 物理层和帧结构之后,给出了基带处理器架构和 OFDM 发射机和接收机的实现细节。尤其突出了 60GHz 无线链路演示和开发的 OFDM 演示器。最后简单地介绍了设计用于无线局域网的下一代 OFDM 演示系统和性能评估。

第 9 章讨论了 60GHz 通信系统的 MAC 层设计。MAC 层在协调接入共享无线信道方面起着重要的作用。在 60GHz 无线网络中,在方向性传输时与载波监听、设备失聪以及设备发现的相关问题是媒体访问控制的主要问题。因此提出了很多技术来改善 MAC 层性能,包括大的分组包(上百千字节)、数据汇聚、分组 ACK 和自动请求重发 (ARQ)。本章主要讨论为支持短距离未压缩视频流业务在设计 60GHz MAC 层时的考虑。最后本章给出了性能的研究。

第 10 章提出了 60GHz 通信系统未来的挑战 and 方向。

目 录

译者序

原书前言

第 1 章 60GHz 入门	1
1.1 什么是 60GHz?	1
1.2 与其他未授权频段系统的比较	2
1.3 潜在应用	5
1.4 世界范围内的规定和频率分配	6
1.4.1 北美	6
1.4.2 日本	7
1.4.3 澳大利亚	7
1.4.4 韩国	8
1.4.5 欧洲	8
1.5 工业界标准化进程	9
1.5.1 IEEE 802.15.3c	9
1.5.2 ECMA 387	10
1.5.3 WirelessHD	11
1.5.4 IEEE 802.11ad	12
1.5.5 无线吉比特联盟	12
1.6 小结	12
参考文献	13
第 2 章 60GHz 信道特征和建模	15
2.1 无线信道建模介绍	15
2.2 建模方法和无线信道模型分类	15
2.2.1 确定性建模	16
2.2.2 统计性建模	17
2.3 信道特征	18
2.3.1 大尺度信道特征	18
2.3.2 小尺度信道特征	25

2.3.3 极化	34
2.4 工业界标准信道模型	36
2.4.1 IEEE 802.15.3c	36
2.4.2 IEEE 802.11ad	40
2.5 小结	48
参考文献	48
第3章 60GHz 系统中的非理想射频前端模型	53
3.1 射频前端架构	53
3.1.1 超外差架构	53
3.1.2 直接变频架构	54
3.1.3 低中频架构	55
3.2 非线性功率放大器	56
3.2.1 线性和效率的权衡	56
3.2.2 非线性建模	58
3.2.3 行为模型	59
3.2.4 输出回退和峰均功率比	62
3.2.5 非线性功率放大器的影响	63
3.3 晶体振荡器带来的相位噪声	65
3.3.1 锁相环中建模相位噪声	65
3.3.2 锁相环中相位噪声的行为模型	68
3.4 其他非理想射频器件	70
3.4.1 模-数转换器中的量化噪声	70
3.4.2 I/Q 失配	72
参考文献	73
第4章 60GHz 中的天线阵列波束赋形	74
4.1 介绍	74
4.2 60GHz 信道特征	74
4.2.1 路径损耗和氧气吸收	75
4.2.2 多径衰落	75
4.3 天线阵列波束赋形	78
4.3.1 自适应天线阵列的训练	79
4.3.2 切换天线阵列的训练	89
4.3.3 60GHz 无线网络中的信道接入	93
4.4 小结	96
参考文献	96

第5章 基带调制	98
5.1 介绍	98
5.2 OFDM 基带调制	101
5.2.1 OFDM 基本准则	101
5.2.2 OFDM 设计考虑	102
5.3 案例研究: IEEE802. 15. 3c 音频视频的 OFDM 系统	106
5.3.1 未压缩的视频通信	106
5.3.2 平等和不平等错误控制	107
5.3.3 比特交织和多路传输	109
5.3.4 AV OFDM 调制	111
5.4 频域均衡 SC	113
5.4.1 简介	113
5.4.2 案例研究: IEEE802. 15. 3c SC 的物理层	115
5.5 SC 收发机设计和系统方面	119
5.5.1 发射机和接收机结构	119
5.5.2 SC 频域均衡	122
5.6 数字基带处理	124
5.6.1 突发检测和粗定时/CFO 获取	125
5.6.2 无 I/Q 不平衡时的联合精细 CFO 和信道估计	129
5.6.3 精 CFO、信道和 I/Q 不平衡的联合估计	131
5.6.4 时域均衡、解扩和跟踪	134
参考文献	140
第6章 在硅片上 60GHz 无线电的实现	142
6.1 介绍	142
6.2 60GHz 无线电半导体技术概述	143
6.3 60GHz 的前端器件	146
6.3.1 SiGe 和 CMOS 下的 60GHz 低噪声放大器	146
6.3.2 SiGe 和 CMOS 下的 60GHz 功率放大器	147
6.3.3 硅毫米波设计中的流程变异性	150
6.4 频率合成和无线架构	151
6.5 无线电基带接口	154
6.5.1 宽带信号的模-数转换器和数-模转换器	154
6.5.2 调制器、解调器和模拟信号处理器在吉比特传输中的应用	158
参考文献	159
第7章 单载波系统的硬件实现	163

7.1 介绍	163
7.2 单载波系统的优点和挑战	164
7.3 非相关检测的系统设计	165
7.4 差分相关检测的系统设计	169
7.5 测试和评估	172
7.6 分组相关检测的先进单载波系统	175
7.7 小结	177
参考文献	178
第 8 章 60GHz 无线局域网应用吉比特正交频分调制的基带设计和实现	179
8.1 基于 FPGA 的 OFDM 物理层实现	180
8.1.1 OFDM 物理层的设计	180
8.1.2 存在时钟偏差和相位噪声时的性能评估	181
8.2 OFDM 基带接收机结构	182
8.2.1 接收机前端	184
8.2.2 接收机后端	188
8.3 OFDM 基带发射机结构	191
8.4 60GHz 链路演示	191
8.4.1 60GHz OFDM 演示结构	191
8.4.2 60GHz 无线电的无线链路演示	192
8.5 60GHz 无线局域网应用的下一代 OFDM 演示	194
8.5.1 信道规划和射频收发机	195
8.5.2 下一代多吉比特 OFDM 物理层	196
8.5.3 60GHz NLOS 信道和 60GHz 相位噪声模型的性能评估	197
参考文献	200
第 9 章 媒体访问控制设计	202
9.1 使用定向天线的设计问题	203
9.2 针对 60GHz 的 IEEE 802.15.3c MAC	205
9.2.1 邻居发现	206
9.2.2 聚合和块确认	207
9.3 支持未压缩视频的设计考虑	213
9.3.1 像素划分	213
9.3.2 未压缩视频自动重传请求	215
9.3.3 不等差错保护	216
9.3.4 误差隐藏	217

9.4 性能研究	219
9.4.1 不等差错保护 UEP 和平等差错保护 EEP 的作用	220
9.4.2 不等差错保护 UEP 的稳定性	220
9.4.3 视频质量度量评估	222
9.5 小结和未来的方向	222
参考文献	223
 第 10 章 现有的挑战和未来的方向	 225
参考文献	227

第 1 章 60GHz 入门[⊖]

Su- Khiong (SK) Yong

1.1 什么是 60GHz?

自从马可尼在 1901 年进行从英格兰的康沃尔向加拿大的纽芬兰实验的第一次无线电波演示实验（基于长波）开始，无线通信得到了迅猛发展。无线通信最初主要用于军事和船舶公司，然后迅速扩展到了商业用途，例如商业广播服务 [例如短波、调幅（AM）和调频（FM）广播、陆地 TV]，蜂窝电话和全球定位系统（GPS）、无线局域网（WLAN）和无线个域网（WPAN）。如今，这些无线通信系统已经成为人们日常生活的一部分，并且不断演进，以提供更好的服务和用户体验。最近出现的新兴无线技术之一是毫米波技术。请注意，毫米波技术已经在数十年前被提出，但是其最初主要用于军事应用。在过去的 5 ~ 6 年，随着半导体处理技术和低成本集成方案的成熟，毫米波技术已经开始得到学术界、产业界和标准化组织的广泛关注。广义上，毫米波技术包括在电磁波频谱 30GHz ~ 300GHz，对应波长为 10 ~ 1mm^[1] 的技术，如图 1-1 所示。在本书中，我们主要关注 60GHz 无线电[⊖]，正如在 1.3 节中讨论的，60GHz 使得很多在低频段无法实现的无线系统和新的应用成为现实。

⊖ 本章节在作者供职于三星电子公司时完成。

⊖ 除非特别申明，本书中 60GHz 和毫米波两者可以互换。

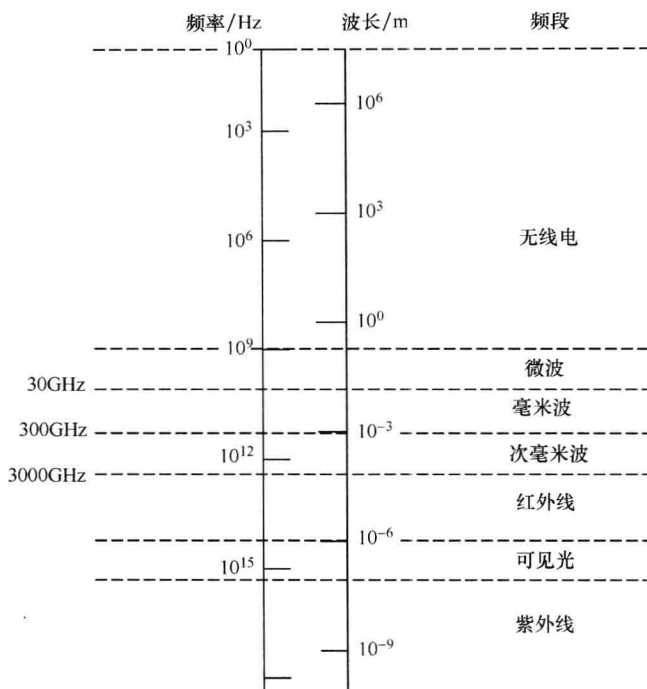


图 1-1 电磁波频谱划分

1.2 与其他未授权频段系统的比较

60GHz 技术与目前现有的通信系统相比具有很多优点^[2]。近年来，对 60GHz 技术广泛关注最主要的原因之一是因为巨大的免授权频带带宽。如图 1-2 所示，在全球很多国家至少有 5GHz 连续的频带可用。与同样使用免授权频带的超宽带 (UWB) 技术相比^[3]，60GHz 技术的频带连续，并且对功率限制更少。由于 UWB 系统是共存系统，因此要受到严格的限制和不同的规定约束^[4]。60GHz 巨大的带宽是即将分配的最大一块免授权频带。巨大的带宽意味着潜在的容量和灵活性，从而使得 60GHz 技术尤其适合于吉比特无线应用（见 1.3 节）。

此外，与现有的 WLAN 和 WPAN 系统相比，60GHz 管理规定允许使用更高的传输功率-有效全向辐射功率 (EIRP)。表 1-1 比较了接近美国联邦通信委员会 (FCC) 管理限制的 60GHz、UWB 和 802.11n 典型系统。

虽然 FCC 规定允许的功率放大器输出功率是 27dBm，但是 60GHz 的功率放大器输出功率一般限制在 10dBm，因为在 60GHz 频段高效功率放大器的实现是十分困难的（见第 3 章更详细的介绍）。然而，高达 40dBi 的天线增益提高了允许的 EIRP

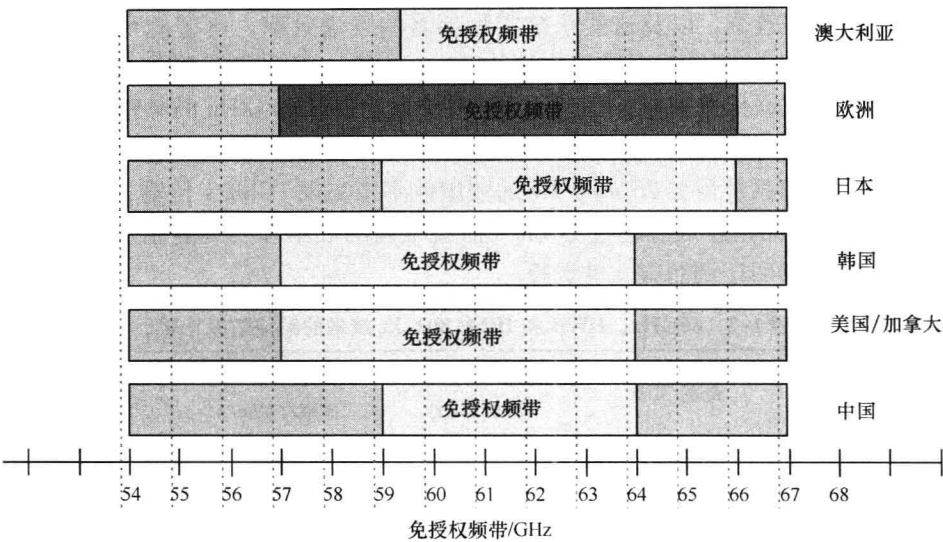


图 1-2 全球 60GHz 频带的频率分配和运营

表 1-1 典型 60GHz、UWB 和 802.11n 系统的输出功率、天线增益和 EIRP 输出的比较

技术	频率/GHz	功率放大器 输出/dBm	天线增益/dBi	EIRP 输出/dBm
60GHz	57.0 ~ 66.0	10.0	25.0	35.0
UWB	3.1 ~ 10.6	-11.5	1.5	-10.0
IEEE 802.11n	2.4/5.0	22.0	3.0	25.0

限制。另一方面，根据 FCC 规定，UWB 系统必须满足严格的 -41.3dBm/MHz 功率频谱模板，因此 UWB 的 EIRP 限制在 -10dBm 的量级，这就造成 UWB 系统的设备只能工作在短距离和低功耗。与之相反， $2.4\text{GHz}/5.0\text{GHz}$ 的功率放大器设计相对比较简单，因此可以达到比 60GHz 系统更大的功率。然而，由于工业、科学和医疗频带很拥挤，所以 EIRP 一般限制在 30dBm 。从表 1-1 可以看出，60GHz 系统的 EIRP 大约是 IEEE 802.11n 的 10 倍，是 UWB 系统的 3 万倍。

在 60GHz 频段，需要有一定的传输功率来克服较大的路径损耗。较大的路径损耗对 60GHz 而言是一个缺点，这个特性也限制了 60GHz 只能在室内环境中工作。因此，60GHz 的有效干扰水平比其他工作在拥挤的 $2.0\text{GHz} \sim 2.5\text{GHz}$ 和 $5.0\text{GHz} \sim 5.8\text{GHz}$ 的系统要小得多。

60GHz 和 UWB 系统巨大的可用带宽也简化了这些技术的系统设计实现。由于带宽更大，因此可以用更低频谱效率的系统实现吉比特传输，从而降低成本和简化实现。表 1-2 给出了为了达到 1Gbit/s 传输，60GHz、UWB 和 IEEE 802.11 系统各

自所需要的频谱效率，以及这些系统实际部署的频谱效率。典型的 60GHz 系统只需要 0.4bit/s/Hz 的频谱效率就能实现 1Gbit/s 传输，因此使用简单的调制方式就能提供很高的数据传输速率。虽然 UWB 系统只需要 2bit/s/Hz 的频谱效率就能实现 1Gbit/s 传输，但是实际部署在 1m 的范围时其传输速率只能达到 400Mbit/s。IEEE 802.11n 等系统需要 25bit/s/Hz 的频谱效率来实现 1Gbit/s 传输，这就使得要把 IEEE 802.11 系统扩展到超过 1Gbit/s 需要很高的成本和实现复杂度。第 4 章更详细地介绍了 60GHz 调制方式的选择。

表 1-2 60GHz、UWB 和 IEEE 802.11 技术的频谱效率比较

技术	带宽/MHz	频谱效率@ 1Gbit/s/ (bit/s/Hz)	目标数据传输 速率/(Mbit/s)	所需频谱效率/ (bit/s/Hz)
60GHz	2000	0.5	4000	2.0
UWB	528	2.0	480	1.0
IEEE 802.11n	40	25.0	600	15.0

此外，60GHz 较大的路径损耗使得在室内环境下可以实现较高的频谱复用，从而可实现很高吞吐量的网络。60GHz 射频器件较小的尺寸也使得在低频带较难实现的用户终端设备多天线方案成为可能。与 5GHz 系统相比，60GHz 的成形因子约为 1/140，因此可以很容易地集成到消费电子产品中。

虽然具有上面的一些优点，60GHz 通信面临着一些亟待解决的问题。图 1-3 给出了一些 WLAN 和 WPAN 系统的数据传输速率和传输范围需求。

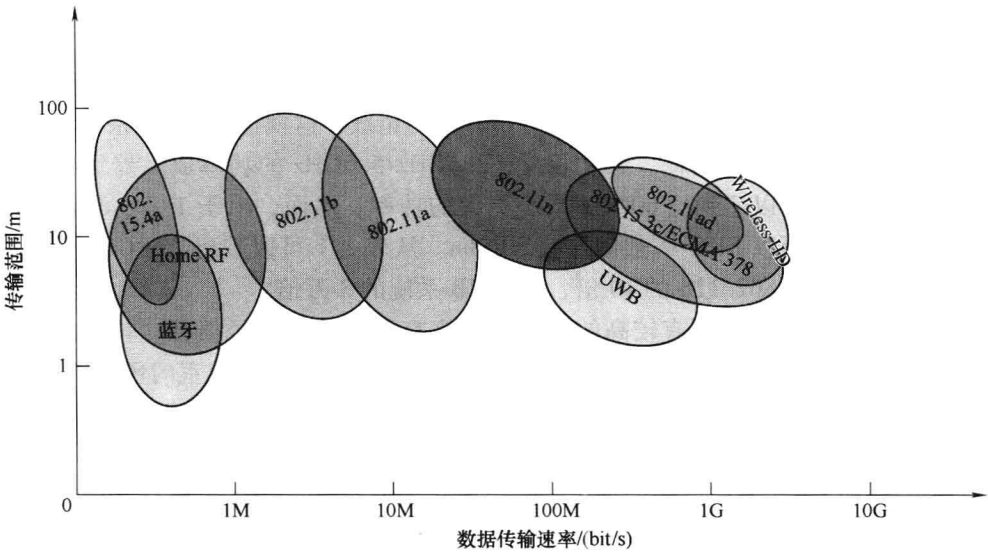


图 1-3 WLAN 和 WPAN 系统的数据传输速率与传输范围

由于需要与其他标准区分市场应用, 60GHz 相关标准定位在提供吉比特数据传输速率, 并且传输范围比 UWB 系统要大, 但是比 IEEE 802.11n 系统要小的应用。典型的 60GHz 系统设计为在 20m 的传输范围内提供数吉比特的数据传输速率, 从而能支持在 1.3 节列出的不同应用。在这种传输范围和数据传输速率下, 提供足够的功率余量来确保可靠的通信链路对于 60GHz 系统来说也是非常重要的问题。此外, 目前正在研究的信道延迟扩展是高速数据传输另一个限制因素。较大的信道延迟扩展除了限制均衡性能, 还会导致系统复杂性增加 (第 2 章中详细介绍了信道对 60GHz 设计上的影响, 第 5 章介绍了信道对调制方式选择的影响)。

1.3 潜在应用

在全球大多数国家分配了 7GHz 的频带带宽, 60GHz 无线电已经使得很多在低频段受限制的吉比特传输应用成为可能。包括以下室内应用:

- 1) 取代电缆, 用户可以通过无线方式享受与有线传输相同的传输质量与体验, 可将未压缩高清 (HD) 视频流显示到远处的屏幕;
- 2) 同步转发的文件传输, 可以使得数吉字节的文件在数秒内完成传输;
- 3) 可以允许多个外围设备 (包括外部显示器) 能连接到计算机, 而不需要频繁插拔的无线扩展坞 (Wireless Docking Station);
- 4) 无线吉比特以太网, 允许双向传输数吉比特的以太网业务;
- 5) 无线游戏, 允许高质量的游戏性能和低延迟, 从而获得更好的用户体验。

这些应用已经在很多标准和行业联盟里讨论过^[5-9]。未压缩视频流是最具前景的应用之一, 松下、LG 电子和东芝公司相关的基于 WirelessHD 规范的产品已经在市场上可以见到^[5,10]。接下来, 我们将简单介绍未压缩视频流应用的技术需求。根据逐行扫描分辨率和每行的像素大小, 视频流所需的数据传输速率从数百 Mbit/s 到数 Gbit/s 不等。目前商用最大的高清电视 (HDTV) 的分辨率为 1920×1080 , 刷新率为 60Hz。考虑使用 RGB 视频格式 (每个像素每个通道 8bit), 所需的数据传输速率大约是 3Gbit/s, 目前的 HDMI 1.1 规范已经支持该传输速率。在未来, 预计在下一代 HDTV 中, 每个通道需要更多的比特 (每个色彩 10 ~ 12bit), 使用更高的刷新率 (90Hz, 120Hz) 来提高质量。数据传输速率预计将超过 5Gbit/s。表 1-3 总结了一些目前和未来 HDTV 规范所需的数据传输速率。此外, 未压缩高清视频流是一种非对称传输, 在上行和下行方向数据流速率相差较大。这种应用还需要很低的传输时延 (10ms 左右) 和很低的误比特率 (低于 10^{-12}) 以确保高清视频质量。