

5G NR

The Next Generation
Wireless Access Technology
Second Edition

5G NR标准

下一代无线通信技术
(原书第2版)

[瑞典] 埃里克·达尔曼 斯特凡·巴克浮 约翰·舍尔德 著
(Erik Dahlman) (Stefan Parkvall) (Johan Sköld)

刘阳 朱怀松 [加]周晓津 译

以3GPP 2020年3月制定的R16版5G商用标准为基础，详解5G NR标准演进技术规范
3GPP核心标准化专家撰写，爱立信中国研发团队翻译，行业专家作序



| 现代通信网络技术丛书 |

5G NR

The Next Generation
Wireless Access Technology
Second Edition

5G NR 标准

下一代无线通信技术
(原书第2版)

[瑞典] 埃里克·达尔曼 斯特凡·巴克浮 约翰·舍尔德 著
(Erik Dahlman) (Stefan Parkvall) (Johan Sköld)

刘阳 朱怀松 [加]周晓津 译



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

5G NR 标准: 下一代无线通信技术: 原书第 2 版 / (瑞典) 埃里克·达尔曼 (Erik Dahlman), (瑞典) 斯特凡·巴克浮 (Stefan Parkvall), (瑞典) 约翰·舍尔德著; 刘阳, 朱怀松, (加) 周晓津译. -- 北京: 机械工业出版社, 2021.6

(现代通信网络技术丛书)

书名原文: 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology, Second Edition
ISBN 978-7-111-68459-6

I. ①5… II. ①埃… ②斯… ③约… ④刘… ⑤朱… ⑥周… III. ①第五代移动通信系统 IV. ①TN929.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 103958 号

本书版权登记号: 图字 01-2021-0676

5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology, Second Edition
Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld
ISBN: 978-0-12-822320-8
Copyright © 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.
Authorized Chinese translation published by China Machine Press.

《5G NR 标准: 下一代无线通信技术 (原书第 2 版)》(刘阳 朱怀松 周晓津 译)
ISBN: 978-7-111-68459-6

Copyright © Elsevier Ltd. and China Machine Press. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from Elsevier (Singapore) Pte Ltd. Details on how to seek permission, further information about the Elsevier's permissions policies and arrangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Licensing Agency, can be found at our website: www.elsevier.com/permissions.

This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright by Elsevier Ltd. and China Machine Press (other than as may be noted herein).

This edition of 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology, Second Edition is published by China Machine Press under arrangement with ELSEVIER LTD.

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本版由 ELSEVIER LTD. 授权机械工业出版社在中国大陆地区 (不包括香港、澳门以及台湾地区) 出版发行。

本版仅限在中国大陆地区 (不包括香港、澳门以及台湾地区) 出版及标价销售。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受民事及刑事法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签, 无标签者不得销售。

注意

本书涉及领域的知识和实践标准在不断变化。新的研究和经验拓展我们的理解, 因此须对研究方法、专业实践或医疗方法作出调整。从业者和研究人员必须始终依靠自身经验和知识来评估和使用本书中提到的所有信息、方法、化合物或本书中描述的实验。在使用这些信息或方法时, 他们应注意自身和他人的安全, 包括注意他们负有专业责任的当事人的安全。在法律允许的最大范围内, 爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对因产品责任、疏忽或其他人身或财产伤害及 / 或损失承担责任, 亦不对由于使用或操作文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身或财产伤害及 / 或损失承担责任。

5G NR 标准: 下一代无线通信技术 (原书第 2 版)

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 王春华 冯秀泳

责任校对: 马荣敏

印刷: 中国电影出版社印刷厂

版次: 2021 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 186mm × 240mm 1/16

印张: 28.75

书号: ISBN 978-7-111-68459-6

定价: 149.00 元

客服电话: (010) 88361066 88379833 68326294

投稿热线: (010) 88379604

华章网站: www.hzbook.com

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

此为试读, 需要完整 PDF 请访问: www.ertongbook.com

序 言 一

2019 年成为全球 5G 商用元年，而 2020 年全球新冠肺炎疫情爆发也挡不住 5G 发展的步伐。特别是在中国，截至 2020 年年底，已经建设 5G 基站 72 万个，5G 连接数超过 2 亿，中国 5G 网络规模和连接数量均超过全球的 70%。在新媒体、工业、能源、医疗等重点场景，5G 已开始步入商业应用。

2018 年 6 月，国际标准组织 3GPP 冻结 5G 第一个独立组网版本（Release 15），重点面向增强移动宽带场景，具备支持低时延高可靠场景的基本功能。2020 年 7 月，3GPP 冻结 5G 第二个版本（Release 16），其在 Release 15 基础上增强了移动宽带业务能力，带来更高的 5G 系统性能和效率，并将进一步丰富 5G 在车联网、工业互联网等低时延高可靠场景的应用。

本书以 5G 标准第二个版本（Release 16）为基础，重点对 5G 新空口进行了详细解读。相对于本书的第 1 版，对 5G 新空口在 Release 16 中的增强进行了全面的介绍，特别是工业互联网、车联网、定位等技术与应用。同时也对 5G 后续技术增强进行了展望，通过更高频段、与卫星系统结合等拓展新的应用空间。本书为中国读者提供了对 5G 国际标准的翔实准确又全面系统的解读，我相信本书的翻译出版会进一步推动 5G 在中国的普及。

回顾 5G 的发展，我国与全球其他国家一道积极推动 5G 国际标准、产品研发、网络建设和应用培育。随着 5G 网络建设的逐步完善和用户增长的不加快，应用成为 5G 成功商用的关键。5G 应用的成熟依赖于 5G 技术与产业的支撑能力，更依赖于应用产业生态、商业模式等诸多因素。

为激发全社会对 5G 创新的热情与智慧，我国已连续三届举办“绽放杯”5G 应用大赛，充分发挥行业需求引领和企业创新的主体作用，5G 应用正逐渐从单一化业务探索、试点示范阶段进入复制推广阶段。希望在全球移动通信产业界通力合作以及各行业积极努力下，5G 能将我们带入更加美好的经济社会！

王志勤

中国信息通信研究院副院长
IMT-2020（5G）推进组组长

序 言 二

2015年9月，3GPP举办了一次特别的研讨会，来自全球移动产业界、监管部门、研究机构的500多名专家汇聚一堂，商谈5G标准化的规划。会议达成的共识包括：5G标准化分成两个阶段，第一阶段满足早期商业部署的需要，第二阶段计划覆盖所有的应用场景，包括eMBB、mMTC和URLLC等5G典型应用场景。这次研讨会实际上标志着3GPP 5G标准化工作的正式开始。

5G的演进是一个持续发展的过程。2017年12月3GPP发布了第一个NR标准，即3GPP Release 15（针对NR非独立组网的场景）。2018年年中Release 15冻结（增加了对NR独立组网的支持）。2020年年中Release 16冻结（支持V2X以及工业物联网）。目前，Release 17的工作正在紧密进行中，Release 18的研究范围也已经开始讨论。

中国在5G技术发展和标准化进程中的重要性也是有目共睹的。由工信部、IMT-2020（5G）推进组及中国信息通信研究院领导和实施的5G技术测试和应用催化，对于推动中国5G研发及产业的发展起到了至关重要的作用。2019年6月，5G商用牌照发放。现在，5G已进入腾飞阶段，在5G 2C业务全面铺开的基础上，2B业务走向多元化。爱立信公司持续加大在中国的5G研发，这不仅是因为中国是5G最大的市场，更重要的是中国已成为5G技术发展与应用探索的前沿阵地，对今后5G乃至6G技术的发展影响深远。

本书作者Erik Dahlman、Stefan Parkvall和Johan Sköld先生均就职于爱立信研究院（Ericsson Research），是无线通信领域的顶级技术专家，从2G时代起就参与标准的制定工作以及无线技术预研，拥有许多发明和创新。他们之前出版的关于3G和4G无线接入的专著均得到业内的广泛认可，成为了解无线通信的技术宝典，而本书将为读者提供对5G的详细而深入的解读。希望本书的翻译出版能为推动5G在中国的发展贡献一点力量。

5G并不仅仅是另一个新的“Generation”，5G与前几代移动通信技术的最大区别在于它与其他行业和领域深入而广泛的结合。在某种程度上，5G的成功与否将取决于它能否真正赋能各个行业，以及能否真正服务于各垂直领域。可喜的是，目前我们已经看到各个行业和领域在积极探索和尝试基于5G的新应用和新服务。相信在不远的将来，5G能够真正成为当今社会数字化转型的强大引擎！

彭俊江

爱立信东北亚区研究中心总经理

译者序

本书作者 Erik Dahlman、Stefan Parkvall 和 Johan Sköld 对于移动通信行业的许多同行来说并不陌生。从 3G 时代开始他们就撰写了相关著作，4G 时代又出版了基于 3GPP 标准的专著，这些著作广受好评，并成为无线通信技术的畅销书。凡是参与过 3GPP 工作或者阅读过 3GPP 标准的同行，相信都对其流程的繁复、标准的丰富深有感触，迫切希望有一本深入浅出而又翔实准确的著作能够对相关标准做一番梳理，以帮助读者尽快建立起对 5G NR 标准的系统认知。

本书第 1 版是一本开创性著作，对 5G NR 的 3GPP 标准做了全面解读和梳理，提供了对 5G NR 标准的准确、易读的描述，以及对 NR 物理层结构、高层协议、射频和频谱的详细解读。不仅如此，它还提供了对 5G NR 标准的洞察：不仅描述技术本身，而且揭示技术决策背后的成因，即常常萦绕在读者心头的问题——标准为什么做出这样的规定？第 1 版出版后广受关注，时隔两年，5G 也已经从书本走入我们的实际生活。英文第 2 版于 2020 年 9 月出版，相较于第 1 版增加了对 Release 16 的全面解读和对 Release 17 的展望。

本书的翻译工作主要是在业余时间进行的，历时近四个月。虽然在移动通信行业工作多年，但作为译者，在翻译过程中心情还是很忐忑的。既要忠实于原著，又要尊重中文的表达方式，尽管我们已经尽最大努力来保证译文的信、达、雅，但由于时间紧、任务急，译作之中肯定存在疏漏。恳请读者不吝指正，以便在后续版本中能够改正这些不足之处。

在翻译过程中，译者得到了作者的大力支持。同时，编辑朱捷先生、王春华女士和冯秀泳先生的耐心指导和悉心审阅，是翻译工作能够顺利完成的强有力的保障，在此表示诚挚的感谢！我们要感谢爱立信公司和爱立信的同事给予的热情帮助，他们提出了很多建议和意见。我们还要感谢家人的永久支持，这是激励我们不断前行的动力。

不同的人对于移动通信如何影响当今社会也许有不同的看法，但毋庸置疑的是，移动通信已经彻底改变了我们的生活方式。5G 的持续发展将使得这一改变更加广泛和深入。我们希望本书的出版能为 5G 事业在中国的发展尽一点力量。“他山之石，可以攻玉”，发展技术是为了创造更加美好的生活。Technology for good!

刘 阳 朱怀松 周晓津
2021 年 2 月于爱立信大厦

前 言

LTE 已成为全球最成功的、服务于数十亿用户的移动宽带技术。毫无疑问，移动宽带现在是、将来也是移动通信的重要组成部分，但未来的无线网络在很大程度上将涵盖更广泛的应用和更广阔的需求。虽然 LTE 是一项非常强大的技术，并且仍在不断发展，在未来许多年内仍将被继续使用，但是新的 5G 无线接入技术——新空口（New Radio, NR）——已经被标准化，以满足未来的需求。

本书对 2020 年春末 3GPP（第三代合作伙伴项目）制定的 NR 标准进行描述。

第 1 章对 5G 做简单介绍，第 2 章描述标准化的过程和相关的组织，比如 3GPP 和 ITU。第 3 章介绍可用于移动通信的频段以及发掘可用新频段的流程。

有关 LTE 及其演进的概述请参阅第 4 章。虽然本书的重点是 NR，但作为后续章节的背景，对 LTE 做简要概述是有益的。一个原因是，LTE 和 NR 都是由 3GPP 制定的，因此具有共同的背景，并且使用了某些相同的技术构件。NR 中的许多设计选择也是基于 LTE 的经验做出的。此外，LTE 还会继续与 NR 平行发展，仍是 5G 无线接入中的重要组成部分。

第 5 章是对 NR 的概述，可以单独阅读，以获得对 NR 的宏观理解，也可以作为对后续章节的介绍。

第 6 章概述 NR 的总体协议结构，第 7 章描述 NR 的总体时频域结构。

多天线处理和波束赋形是 NR 的重要组成部分。第 8 章对支持这些功能的信道探测方法进行概述，第 9 章总体介绍传输信道的处理，第 10 章介绍相关的控制信令。这些功能如何支持不同的多天线方案和波束赋形是在第 11 章和第 12 章描述的。

重传功能和调度分别是第 13 章和第 14 章的主题，第 15 章介绍功率控制，第 16 章介绍小区搜索，第 17 章介绍随机接入。

与 LTE 的共存和互通是 NR 的重要组成部分，特别是在依赖 LTE 实现移动性和初始接入的非独立组网模式下。第 18 章对此进行介绍。

第 19 ~ 24 章重点介绍 Release 16 对 NR 的一些主要增强。对非授权频谱的接入也在第 19 章讨论。第 20 章描述对超可靠、低时延通信的增强和工业物联网的增强。第 21 章讨论 TDD 网络的远程干扰管理。第 22 章描述接入和回传一体化，使得 NR 不仅可以用于接入，也可以用于回传。第 23 章涵盖车联网通信和 NR 标准的直通链路（Sidelink）设计。第 24 章

讨论 NR 标准的定位技术。

考虑到大频率范围以及多标准无线设备的频谱灵活性，第 25 章描述 NR 对射频的要求。第 26 章讨论毫米波范围内较高频段的射频实现所要考虑的问题。

最后，第 27 章对本书进行总结，并对未来的 NR 版本尤其是 Release 17 进行展望。

致 谢

感谢爱立信公司为本书的写作提供帮助的同事，包括对本书有关内容直接提供建议和意见，以及参与开发 NR 和 5G 这一宏大的下一代无线接入项目。

标准化过程涉及来自全球各地的工作者，在此感谢无线通信业的所有同人，特别是 3GPP RAN 工作组的同人。没有他们的工作和对标准化的贡献，这本书就不可能存在。

最后，非常感谢家人在本书的漫长撰写过程中给予我们的宽容和支持。

目 录

序言一	
序言二	
译者序	
前 言	
致 谢	
第 1 章 5G 概述	1
1.1 3GPP 和移动通信的标准化	2
1.2 下一代无线接入技术——5G/NR	3
1.2.1 5G 应用场景	3
1.2.2 LTE 向 5G 演进	3
1.2.3 NR——新的 5G 无线接入技术	4
1.2.4 5GCN——新的 5G 核心网	4
第 2 章 5G 标准化	5
2.1 标准化和监管概述	5
2.2 ITU-R 从 3G 到 5G 的活动	7
2.2.1 ITU-R 的角色	7
2.2.2 IMT-2000 和 IMT-Advanced	7
2.2.3 ITU-R WP5D 的 IMT-2020 流程	8
2.3 5G 和 IMT-2020	10
2.3.1 IMT-2020 使用场景	10
2.3.2 IMT-2020 能力集	12
2.3.3 IMT-2020 性能要求	14
2.3.4 IMT-2020 候选技术和评估	16
2.4 3GPP 标准化	17
2.4.1 3GPP 流程	18
2.4.2 作为 IMT-2020 候选技术的 3GPP 5G NR 规范	20
第 3 章 5G 频谱	22
3.1 移动系统的频谱	22
3.1.1 ITU-R 为 IMT 系统定义的频谱	23
3.1.2 5G 的全球频谱状况	25
3.2 NR 的频段	26
第 4 章 LTE 概述	32
4.1 LTE Release 8——基本的无线接入	32
4.2 LTE 演进	34
4.3 频谱灵活性	36
4.3.1 载波聚合	36
4.3.2 授权辅助接入	38
4.4 多天线增强	38
4.4.1 增强的多天线传输	38
4.4.2 多点协作和传输	39
4.4.3 增强的控制信道结构	40
4.5 密集度、微蜂窝和异构部署	40
4.5.1 中继	40
4.5.2 异构部署	40
4.5.3 微蜂窝开关	41
4.5.4 双连接	41
4.5.5 动态 TDD	42
4.5.6 WLAN 互通	42
4.6 终端增强	42
4.7 新场景	43

4.7.1	机器类型通信	43	第 6 章	无线接口架构	65
4.7.2	降低时延	44	6.1	系统总体架构	65
4.7.3	设备到设备通信	44	6.1.1	5G 核心网	65
4.7.4	V2V 和 V2X	45	6.1.2	无线接入网	67
4.7.5	飞行器	45	6.2	服务质量	69
4.7.6	多播 / 广播	46	6.3	无线协议架构	70
第 5 章 NR 概述			6.4	用户面协议	71
5.1	Release 15 中的 NR 基础知识	48	6.4.1	SDAP	73
5.1.1	高频操作和频谱灵活性	48	6.4.2	PDCP	73
5.1.2	极简设计	49	6.4.3	无线链路控制	74
5.1.3	向前兼容性	49	6.4.4	媒体接入控制	76
5.1.4	传输方案、部分带宽和帧 结构	50	6.4.5	物理层	84
5.1.5	双工方式	52	6.5	控制面协议	85
5.1.6	低时延支持	53	6.6	移动性	87
5.1.7	调度和数据传输	54	6.6.1	网络控制的移动性	87
5.1.8	控制信道	54	6.6.2	小区重选	89
5.1.9	以波束为中心的设计和多天 线传输	55	6.6.3	终端跟踪	89
5.1.10	初始接入	56	6.6.4	寻呼	91
5.1.11	互通和与 LTE 共存	57	第 7 章 总体传输结构		
5.2	Release 16 中的 NR 演进	58	7.1	传输机制	93
5.2.1	多天线增强	58	7.2	时域结构	95
5.2.2	载波聚合和双连接增强	59	7.3	频域结构	98
5.2.3	移动性增强	59	7.4	部分带宽	102
5.2.4	终端节能增强	60	7.5	NR 载波的频域位置	103
5.2.5	交叉链路干扰缓解和远程干 扰管理	60	7.6	载波聚合	104
5.2.6	接入和回传一体化	61	7.7	补充上行	106
5.2.7	NR 与非授权频谱	61	7.7.1	与载波聚合的关系	107
5.2.8	智能交通系统和车联网	62	7.7.2	控制信令	108
5.2.9	工业物联网和超可靠低时延 通信	63	7.8	双工方式	108
5.2.10	定位	63	7.8.1	时分双工	110
			7.8.2	频分双工	112
			7.8.3	时隙格式和时隙格式指示	112
			7.9	天线端口	116
			7.10	准共址	117

第 8 章 信道探测	119	9.9 资源映射	143
8.1 下行信道探测: CSI-RS	119	9.10 下行预留资源	146
8.1.1 CSI-RS 基本结构	120	9.11 参考信号	148
8.1.2 CSI-RS 配置的频域结构	123	9.11.1 基于 OFDM 的上下行传输所使用的 DM-RS	149
8.1.3 CSI-RS 配置的时域特性	123	9.11.2 基于 DFT 预编码的 OFDM 上行 传输所使用的 DM-RS	153
8.1.4 CSI-IM 资源干扰测量	124	9.11.3 相位跟踪参考信号	155
8.1.5 零功率 CSI-RS	124	第 10 章 物理层控制信令	157
8.1.6 CSI-RS 资源集	125	10.1 下行	157
8.1.7 跟踪参考信号	125	10.1.1 物理下行控制信道	158
8.1.8 物理天线映射	126	10.1.2 控制资源集	160
8.2 下行测量和上报	127	10.1.3 盲解码和搜索空间	165
8.2.1 上报数量	127	10.1.4 下行调度分配: DCI 格式 1_0、 1_1 和 1_2	171
8.2.2 测量资源	128	10.1.5 上行调度授权: DCI 格式 0_0、 0_1 和 0_2	174
8.2.3 上报类型	128	10.1.6 时隙格式指示: DCI 格式 2_0	178
8.3 上行信道探测: SRS	129	10.1.7 抢占指示: DCI 格式 2_1	178
8.3.1 SRS 序列和 Zadoff-Chu 序列	131	10.1.8 上行功率控制命令: DCI 格式 2_2	178
8.3.2 多端口 SRS	132	10.1.9 SRS 控制命令: DCI 格式 2_3	178
8.3.3 SRS 时域结构	132	10.1.10 上行取消指示: DCI 格式 2_4	178
8.3.4 SRS 资源集	132	10.1.11 软资源指示: DCI 格式 2_5	178
8.3.5 物理天线映射	133	10.1.12 DRX 激活: DCI 格式 2_6	179
第 9 章 传输信道处理	134	10.1.13 Sidelink 调度: DCI 格式 3_0 和 3_1	179
9.1 概述	134	10.1.14 指示频域资源的信令	179
9.2 信道编码	135	10.1.15 指示时域资源的信令	180
9.2.1 每个传输块添加 CRC	135	10.1.16 指示传输块大小的信令	182
9.2.2 码块分段	135	10.2 上行	183
9.2.3 信道编码	136	10.2.1 PUCCH 基本结构	185
9.3 速率匹配和物理层 HARQ 功能	137	10.2.2 PUCCH 格式 0	185
9.4 加扰	139	10.2.3 PUCCH 格式 1	187
9.5 调制	139		
9.6 层映射	140		
9.7 上行 DFT 预编码	140		
9.8 多天线预编码	141		
9.8.1 下行预编码	141		
9.8.2 上行预编码	142		

10.2.4	PUCCH 格式 2	188	13.1.1	软合并	221
10.2.5	PUCCH 格式 3	189	13.1.2	下行 HARQ	223
10.2.6	PUCCH 格式 4	191	13.1.3	上行 HARQ	223
10.2.7	PUCCH 传输使用的资源和 参数	191	13.1.4	上行确认的定时	224
10.2.8	通过 PUSCH 传输的上行控制 信令	192	13.1.5	HARQ 确认的复用	225
第 11 章	多天线传输	194	13.2	RLC	227
11.1	简介	194	13.2.1	序列编号和分段	229
11.2	下行多天线预编码	198	13.2.2	确认模式和 RLC 重传	231
11.2.1	类型 I CSI	199	13.3	PDCP	233
11.2.2	类型 II CSI	201	第 14 章	调度	235
11.2.3	Release 16 增强的类型 II CSI	202	14.1	动态下行调度	235
11.3	上行多天线预编码	204	14.2	动态上行调度	238
11.3.1	基于码本的传输	205	14.2.1	上行优先级处理和逻辑信道 复用	240
11.3.2	基于非码本的预编码	207	14.2.2	调度请求	242
第 12 章	波束管理	209	14.2.3	缓存状态报告	244
12.1	初始波束建立	210	14.2.4	功率余量报告	244
12.2	波束调整	210	14.3	调度和动态 TDD	246
12.2.1	下行发送端波束调整	211	14.4	无动态授权的传输——半持续调度 和配置授权	246
12.2.2	下行接收端波束调整	211	14.5	节能机制	248
12.2.3	上行波束调整	212	14.5.1	不连续接收	249
12.2.4	波束指示和 TCI	212	14.5.2	唤醒信号	250
12.3	波束恢复	213	14.5.3	从节能角度考虑的跨时隙调度	250
12.3.1	波束失败检测	214	14.5.4	小区休眠	252
12.3.2	新备选波束的认定	214	14.5.5	带宽自适应	252
12.3.3	终端恢复请求和网络响应	214	第 15 章	上行功率和定时控制	254
12.4	多收发节点传输	215	15.1	上行功率控制	254
12.4.1	基于单 DCI 的多收发节点传输	216	15.1.1	功率控制基线	254
12.4.2	基于多 DCI 的多收发节点传输	216	15.1.2	基于波束的功率控制	256
第 13 章	重传协议	218	15.1.3	PUCCH 功率控制	258
13.1	带软合并的 HARQ	219	15.1.4	多个上行载波情况下的功率 控制	258

15.2 上行定时控制·····	259	17.6.3 选择两步 RACH 还是四步 RACH·····	287
第 16 章 小区搜索和系统信息·····	261	第 18 章 LTE/NR 互通和共存·····	288
16.1 SSB·····	261	18.1 LTE/NR 双连接·····	288
16.1.1 基本结构·····	261	18.1.1 部署场景·····	289
16.1.2 频域位置·····	263	18.1.2 架构选项·····	290
16.1.3 SSB 的周期·····	263	18.1.3 单发工作·····	290
16.2 SS 突发集——时域上多个 SSB·····	263	18.2 LTE/NR 共存·····	291
16.3 PSS、SSS 和 PBCH 的详细说明·····	265	第 19 章 NR 非授权频谱技术·····	294
16.3.1 PSS·····	265	19.1 NR 的非授权频谱·····	295
16.3.2 SSS·····	266	19.1.1 5GHz 频段·····	295
16.3.3 PBCH·····	267	19.1.2 6GHz 频段·····	297
16.4 剩余系统信息·····	269	19.2 非授权频谱的技术组件·····	297
第 17 章 随机接入·····	271	19.3 非授权频谱中的信道接入·····	298
17.1 步骤 1——前导码的发送·····	272	19.3.1 动态信道接入流程·····	299
17.1.1 RACH 配置和 RACH 资源·····	272	19.3.2 半静态信道接入流程·····	304
17.1.2 前导码基本结构·····	274	19.3.3 载波聚合和宽带操作·····	304
17.1.3 长前导码和短前导码·····	275	19.4 下行数据传输·····	306
17.1.4 SSB 索引到 RACH 时机和 前导码的映射·····	277	19.4.1 下行 HARQ·····	306
17.1.5 前导码的功率控制和功率提升·····	278	19.4.2 参考信号·····	309
17.2 步骤 2——随机接入响应·····	279	19.5 上行数据传输·····	309
17.3 步骤 3/4——竞争解决·····	280	19.5.1 交织传输·····	309
17.3.1 消息 3·····	280	19.5.2 上行数据传输的动态调度·····	310
17.3.2 消息 4·····	280	19.5.3 上行数据传输的预配置调度 授权·····	311
17.4 补充上行的随机接入·····	281	19.5.4 上行探测参考信号·····	313
17.5 初始接入之后的随机接入·····	281	19.6 下行控制信令·····	313
17.5.1 切换中的随机接入·····	281	19.6.1 CORESET·····	313
17.5.2 SI 请求的随机接入·····	281	19.6.2 PDCCH 盲检和搜索空间组·····	314
17.5.3 通过 PDCCH Order 重新建立 同步·····	282	19.6.3 下行调度分配：DCI 格式 1_0 和 1_1·····	314
17.6 两步 RACH·····	282	19.6.4 上行调度授权：DCI 格式 0_0 和 0_1·····	315
17.6.1 两步 RACH——步骤 A·····	283		
17.6.2 两步 RACH——步骤 B·····	286		

19.6.5	下行反馈信息: DCI 格式 0_1	317	22.4.1	IAB 节点传输定时和 OTA 定时 对齐	347
19.6.6	时隙格式指示: DCI 格式 2_0	318	22.4.2	DU/MT 协调和配置	349
19.7	上行控制信令	318	第 23 章	Sidelink 通信	354
19.7.1	PUCCH 承载上行控制信令	318	23.1	NR Sidelink——传输和部署场景	354
19.7.2	PUSCH 承载上行控制信令	320	23.2	Sidelink 通信的资源	356
19.8	初始接入	321	23.3	Sidelink 物理信道	357
19.8.1	动态频率选择	321	23.3.1	PSSCH/PSCCH	358
19.8.2	小区搜索、发现突发和独立 模式	321	23.3.2	PSFCH	360
19.8.3	随机接入	323	23.4	Sidelink 过程	361
第 20 章	工业物联网和 URLLC 增强	324	23.4.1	资源分配和功率控制	361
20.1	上行抢占	325	23.4.2	HARQ 反馈和重传	365
20.1.1	上行取消	325	23.4.3	Sidelink 信道探测和 CSI 报告	367
20.1.2	用于动态调度的上行功率提升	326	23.5	Sidelink 同步	367
20.2	上行冲突解决	327	23.5.1	Sidelink SS/PSBCH 块	368
20.3	配置授权和半持续调度	328	23.5.2	同步过程	369
20.4	PUSCH 资源分配增强	329	第 24 章	定位	371
20.5	下行控制信道	330	24.1	基于下行的定位	372
20.6	具备 PDCP 复制的多连接	331	24.2	基于上行的定位	375
20.7	时间敏感网络的时间同步	332	第 25 章	射频特性	377
第 21 章	TDD 网络中的干扰处理	334	25.1	频谱灵活性的影响	377
21.1	远程干扰管理	335	25.2	不同频率范围的射频要求	379
21.1.1	集中式和分布式干扰处理	337	25.3	信道带宽和频谱利用率	381
21.1.2	RIM 参考信号	339	25.4	终端射频要求的总体结构	382
21.1.3	RIM-RS 的资源	340	25.5	基站射频要求的总体结构	383
21.2	交叉链路干扰	341	25.5.1	NR 基站的射频传导要求和 辐射要求	383
21.2.1	终端侧干扰测量	341	25.5.2	NR 不同频率范围的基站类型	384
21.2.2	小区间协调	342	25.6	NR 射频传导要求概述	385
第 22 章	接入和回传一体化	343	25.6.1	发射机传导特性	386
22.1	IAB 架构	344	25.6.2	接收机传导特性	386
22.2	IAB 频谱	346	25.6.3	区域性要求	387
22.3	IAB 节点的初始接入	347			
22.4	IAB 链路	347			

25.6.4 通过网络信令通知特定频段的 终端要求	387	26.2.1 自由振荡器和锁相环的相位噪声 特性	409
25.6.5 基站类型 1-C 和 1-H 的基站 等级	388	26.2.2 毫米波信号生成的挑战	410
25.7 传导输出功率电平要求	389	26.3 功放效率和无用发射的关系	412
25.7.1 基站输出功率和动态范围	389	26.4 滤波器	415
25.7.2 终端输出功率和动态范围	389	26.4.1 模拟前端滤波器	416
25.8 发射信号质量	389	26.4.2 插损和带宽	417
25.8.1 EVM 和频率误差	390	26.4.3 滤波器实现示例	419
25.8.2 终端带内发射	390	26.5 接收机噪声系数、动态范围和带宽 的影响	421
25.8.3 基站时间对齐	390	26.5.1 接收机和噪声系数模型	421
25.9 无用发射传导要求	390	26.5.2 噪声因子和噪底	422
25.9.1 实现因素	391	26.5.3 压缩点和增益	423
25.9.2 带外域的发射模板	391	26.5.4 功率谱密度和动态范围	423
25.9.3 邻道泄漏比	392	26.5.5 载波频率和毫米波技术	424
25.9.4 杂散发射	394	26.6 本章小结	426
25.9.5 占用带宽	394	第 27 章 5G 继续演进	427
25.9.6 发射机互调	395	27.1 52.6GHz 以上的 NR	428
25.10 传导灵敏度和动态范围	395	27.2 IAB 增强	428
25.11 接收机对干扰信号的敏感度	395	27.3 工业物联网——RedCap 和定位增强	428
25.12 NR 的射频辐射要求	397	27.4 非陆地网络	429
25.12.1 基站类型 1-O 和 2-O 的基站 等级	397	27.5 公共安全和 Sidelink 增强	429
25.12.2 FR2 的终端辐射要求	398	27.6 NR 广播 / 多播	430
25.12.3 FR1 的基站辐射要求	398	27.7 通用增强	430
25.12.4 FR2 的基站辐射要求	399	27.7.1 MIMO 增强	430
25.13 多标准无线基站	400	27.7.2 节能增强	430
25.14 工作在非连续频谱	402	27.7.3 小数据增强	431
25.15 多频段能力基站	403	27.7.4 动态频谱共享	431
第 26 章 毫米波射频技术	407	27.8 结束语	431
26.1 ADC 和 DAC	407	参考文献	432
26.2 本振和相位噪声	409	术语表	436

第 1 章

5G 概述

过去 40 年，世界见证了四代移动通信系统的发展，如图 1-1 所示。



图 1-1 移动通信发展史

第一代移动通信始于 1980 年左右，使用的是模拟传输，主要技术有北美制定的高级移动电话系统（Advanced Mobile Phone System, AMPS）、北欧国家的公共电话网络运营商（当时由政府控制）联合制定的北欧移动电话（Nordic Mobile Telephony, NMT），以及在英国等地使用的全接入通信系统（Total Access Communication System, TACS）。基于第一代技术的移动通信系统只限于提供语音服务，不过，这是历史上移动电话首次可供普通民众使用。

第二代移动通信出现于 20 世纪 90 年代早期，其特点是在无线链路上引入了数字传输。虽然其目标服务仍然是语音，但是数字传输使得第二代移动通信系统也能提供有限的服务。最初存在几种不同的第二代技术，包括由许多欧盟国家联合制定的全球移动通信系统（Global System for Mobile communication, GSM）、数字高级移动电话系统（Digital AMPS, D-AMPS）、由日本提出并且仅在日本使用的个人数字蜂窝（Personal Digital Cellular, PDC），以及稍后发展出来的基于 CDMA 的 IS-95 技术。随着时间的推移，GSM 从欧洲扩展到世界，并逐渐成为第二代技术中的绝对主导。正是由于 GSM 的成功，第二代系统把移动电话从一个小众用品变成了一个世界上大多数人使用的、成为生活必需品的通信工具。即使在今天，尽管第三代和第四代技术已经问世，但在世界的许多地方 GSM 仍然起着主要作用，在某些情况下甚至是唯一可用的移动通信技术。