

5G R17标准技术 演进与增强

洪伟 赵群 沈洋 编著
江小威 郭胜祥 张明



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

Release 17 作为 5G 标准演进的重要版本,对 5G 产业的发展将产生巨大的影响。本书深入浅出地介绍了 5G 标准的演进版本 Release 17 中的关键技术,包括 NTN、能力简化终端、终端省电、直连通信增强和中继、MIMO、终端射频、无线网络切片、定位增强、多卡终端、卫星接入、定位业务、核心网网络切片、测距业务等,并对 5G 后续演进进行了展望。本书不仅介绍了 Release 17 各个关键技术标准,还生动地介绍了这些关键技术标准形成的过程和背后的故事。

本书不仅可以作为专门从事 5G 技术及标准化研究人员的工具书,还可以作为对 5G 及 5G 后续演进技术感兴趣人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

5G R17 标准技术演进与增强 / 洪伟等编著. -- 北京 : 北京邮电大学出版社, 2022. 10

ISBN 978-7-5635-6778-2

I. ①5… II. ①洪… III. ①无线电通信—移动通信—通信技术—技术标准 IV. ①TN929.5-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 188368 号

策划编辑: 彭 楠 责任编辑: 彭 楠 陶 恒 责任校对: 张会良 封面设计: 七星博纳

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 25.5

字 数: 634 千字

版 次: 2022 年 10 月第 1 版

印 次: 2022 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-6778-2

定 价: 98.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

序

随着人们对移动通信的需求和要求越来越高,移动通信技术在最近几十年内以十年一代的速度获得了迅猛的发展。移动通信经历了从人与人的连接,到人与物的连接,乃至迈向万物互联的历程,如今,已经发展到了第五代。

为了满足人们对移动通信更高性能和效率的需求,国际电信联盟(ITU)针对第五代移动通信系统提出了三大应用场景,即增强移动带宽(EMBB)、大规模机器通信(MMTC)、超可靠低时延通信(URLLC),并提出了八大关键能力的增强,即峰值速率、用户体验速率、时延、移动性、连接密度、流量密度、频谱效率、能量效率。这八大关键能力的提升使得移动通信网络能够适应目前与垂直行业相互融合、促进的应用需求,从而能够实现融合化、灵活化、弹性化、智能化的移动通信系统。

为实现 5G 移动通信网络的目标,科学家们在无线传输、无线网络、与 AI 的结合等关键技术的研究方面取得了重大的突破,并且 5G 首次实现了全球标准的统一。3GPP 于 2018 年完成的 R15 版本是 5G 的第一个基础标准版本,之后 3GPP 于 2020 年完成了 R16 这一增强的版本。基于对 5G 移动通信网络更高的要求,3GPP 在 R16 版本之后又开始了 R17 版本的研究。R17 版本作为 5G 标准演进的重要版本,对 5G 产业的发展将产生巨大的影响,并为移动通信能够平滑演进到 5G-Advanced 奠定一定的基础。

该书介绍了 R17 标准中无线接入网侧和核心网侧的关键技术,除此之外,该书还根据作者参加标准化工作的经历并结合相关会议的讨论过程以及官方的会议文件,详细讲述了这些关键技术的方案选择以及标准形成的过程,更加有利于读者理解标准中的关键技术以及这些关键技术的方案被标准采纳的原因。该书不仅可以作为专门从事 5G 技术及标准化研究人员的工具书,还可以作为对 5G 及 5G 后续演进技术感兴趣人员的参考书。

该书的作者均长期从事移动通信技术研究和 3GPP 标准化工作,并亲身经历了 5G 标准的制定过程,部分作者还担任过 3GPP 多个重要技术的项目报告人,对移动通信技术的发展和标准的产生过程有着非常深刻的理解和认识。

移动通信技术以及 5G 标准还在持续地增强和演进。目前,3GPP 已经开始了针对 R18 标准的研究和制定,R18 的部分在研课题是基于 R17 在研课题的进一步增强和演进,除此之外,R18 还引入了一些全新的在研课题,例如无线 AI 等。相信该书的出版能够为移动通信行业的从业者和关注者带来更多的启发和收获,能够吸引更多的力量加入到移动通信的

标准制定工作中,为移动通信行业的不断发展贡献一份力量。

北京邮电大学教授

王文博

前 言

随着第一代移动通信系统(1G)在 20 世纪 80 年代的提出,移动通信系统基本以每十年一代的速度进行着快速的演进和迭代,并且几乎每一代移动通信系统都对人们的生活产生了巨大的影响,催生了一系列的“杀手”级应用,例如微信、短视频、移动支付、云游戏等,甚至改变了人们的生活方式。目前 5G 已经开始了大规模的商用,而 5G 的下一个重要演进版本——5G-Advanced 也由国际标准化组织 3GPP 在 Release 18 阶段开始进行研究和标准化工作。

Release 17 是移动通信系统从 5G 到 5G-Advanced 演进过程中一个重要的版本。Release 17 一方面针对先前 Release 版本已有的聚焦 EMBB、URLLC、MMTC 三大场景的多个功能和特性进行了增强,另一方面还引入了先前 Release 版本没有考虑到的一系列功能和特性。可以说,Release 17 作为 5G 标准演进的重要版本,对 5G 产业的发展将产生巨大的影响,并为移动通信能够平滑地演进到 5G-Advanced 奠定一定的基础。

全书共 15 章。第 1 章为概述部分,介绍了截至目前 5G 标准的制定过程;第 2 章介绍了 Release 17 无线侧非地面通信项目 NTN 的标准化进展;第 3 章介绍了 Release 17 能力简化终端 RedCap,即针对工业传感器、智能监控摄像头、可穿戴设备等中低端物联网设备的标准化进展;第 4 章介绍了终端省电技术在 Release 17 阶段的标准化进展;第 5 章介绍了直连通信技术在 Release 17 阶段针对先前 Release 版本未支持的一些特性和未满足的一些需求进行的增强;第 6 章介绍了在 Release 15 和 Release 16 的基础上,MIMO 技术在 Release 17 阶段引入的新特征;第 7 章介绍了 Release 17 阶段关于终端射频的相关热点技术;第 8 章介绍了无线侧的网络切片技术在 Release 17 阶段的标准化进展;第 9 章针对 Release 17 无线侧定位增强技术进行了介绍,定位增强技术能够支持更高精度的定位需求、更低的定位延迟、更高的网络效率和设备效率;第 10 章介绍了核心网侧为了更好地支持多卡终端所做的标准化工作;第 11 章介绍了 Release 17 核心网侧卫星接入项目的标准化进展;第 12 章针对 Release 17 核心网侧定位业务进行了介绍;第 13 章介绍了核心网侧的网络切片在 Release 17 阶段的标准化进展;第 14 章介绍了测距业务的标准化进展;第 15 章对 5G-Advanced Release 18 的立项情况进行了介绍。

本书作者均为北京小米移动软件有限公司集团技术委员会标准与新技术部专家,均为长期从事 3GPP 技术研究和标准化工作的 3GPP 一线参会代表和研究人员,有着丰富的技术研究和标准化经验,深入参与了 3GPP Release 15、Release 16 和 Release 17 的 5G 和 5G 增强的标准制定过程,有些作者更是深入参与了 3G 和 4G 的标准制定过程,并且担任过多个重要技术方向的项目报告人或者负责人,提出的多项技术方案都被 3GPP 标准采纳,对 5G 和 5G 增强的标准知其然更知其所以然。本书的核心作者曾出版译著《LTE 小基站优化:3GPP 演进到 R13》,该书出版后广受读者好评和欢迎。除本书署名作者外,池连刚、陈栋、段高明、朱亚军、刘敏、熊艺、李小龙、牟勤、李艳华、乔雪梅、付婷、胡子泉、杨星、赵文素、Gordon Young、李明菊、高雪媛、罗星熠、张振宇、周锐、张娟、刘晓菲、刘建宁、毛玉欣、王鑫丽、吴锦花、吴昱民、王磊等对本书也进行了审核和校对,提出了宝贵的修改意见,在此一并致谢!

由于作者水平所限,对一些技术的理解和标准化过程的解读难免存在疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

作者

目 录

| | |
|---------------------|----|
| 第 1 章 概述 | 1 |
| 1.1 移动通信的发展历程 | 1 |
| 1.2 5G 系统的业务需求与性能指标 | 3 |
| 1.2.1 5G 系统的业务需求 | 3 |
| 1.2.2 5G 系统的性能指标 | 4 |
| 1.3 5G 标准的制定过程 | 5 |
| 1.4 NR 概述 | 6 |
| 1.4.1 NR 的基本特性 | 6 |
| 1.4.2 NR 的关键技术特性 | 8 |
| 1.5 5GC 概述 | 11 |
| 1.5.1 5GC 的基本特性 | 11 |
| 1.5.2 5GC 的关键技术特性 | 12 |
| 参考文献 | 16 |
| 第 2 章 NTN | 17 |
| 2.1 NTN 概述和场景研究 | 17 |
| 2.1.1 NTN 参考场景 | 17 |
| 2.1.2 NTN 网络架构 | 18 |
| 2.2 NTN 系统中存在的问题 | 19 |
| 2.2.1 物理层存在的问题 | 19 |
| 2.2.2 高层存在的问题 | 19 |
| 2.3 物理层相关的增强 | 20 |
| 2.3.1 时序关系 | 20 |
| 2.3.2 同步 | 25 |
| 2.3.3 HARQ | 31 |
| 2.3.4 波束和极化 | 34 |
| 2.4 高层相关的增强 | 37 |
| 2.4.1 用户面增强 | 37 |
| 2.4.2 控制面增强 | 45 |
| 参考文献 | 57 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 第 3 章 能力简化终端 | 58 |
| 3.1 项目背景 | 58 |
| 3.1.1 引入需求 | 58 |
| 3.1.2 主要应用场景 | 59 |
| 3.1.3 总体功能 | 59 |
| 3.2 复杂度降低 | 60 |
| 3.2.1 候选方案 | 60 |
| 3.2.2 带宽缩减 | 64 |
| 3.2.3 天线结构简化 | 70 |
| 3.2.4 HD-FDD | 71 |
| 3.2.5 调制解调方式放松 | 74 |
| 3.3 功率节省 | 76 |
| 3.3.1 e-DRX | 76 |
| 3.3.2 RRM 放松 | 79 |
| 3.4 RedCap 的共存 | 81 |
| 3.4.1 接入控制 | 81 |
| 3.4.2 提前指示 | 83 |
| 参考文献 | 85 |
| 第 4 章 终端省电 | 88 |
| 4.1 项目背景 | 88 |
| 4.2 PEI | 88 |
| 4.2.1 PEI 设计 | 90 |
| 4.2.2 终端分组 | 93 |
| 4.3 TRS/CSI-RS | 98 |
| 4.3.1 物理层进展 | 98 |
| 4.3.2 高层进展 | 100 |
| 4.4 C-DRX 激活期基于 DCI 的节能 | 102 |
| 4.4.1 候选方案 | 102 |
| 4.4.2 节能指示承载 | 103 |
| 4.4.3 候选方案融合 | 103 |
| 4.5 RLM/BFD 测量放松 | 106 |
| 参考文献 | 107 |
| 第 5 章 直连通信增强和中继 | 111 |
| 5.1 直连通信增强 | 111 |

| | | |
|--------------|--------------------------|------------|
| 5.1.1 | 概述 | 111 |
| 5.1.2 | 直连非连续接收 | 112 |
| 5.1.3 | Mode 2 资源分配增强 | 115 |
| 5.2 | 直连通信中继 | 129 |
| 5.2.1 | 概述 | 129 |
| 5.2.2 | L2 和 L3 U2N 中继通用功能 | 130 |
| 5.2.3 | L2 U2N 中继 UE | 132 |
| 5.2.4 | L3 U2N 中继 | 140 |
| | 参考文献 | 140 |
| 第 6 章 | MIMO | 142 |
| 6.1 | 增强模拟波束管理 | 142 |
| 6.1.1 | 背景 | 142 |
| 6.1.2 | 统一 TCI 框架 | 143 |
| 6.1.3 | 波束指示信令设计 | 149 |
| 6.1.4 | 小区间波束管理 | 152 |
| 6.1.5 | 多天线面板终端(MP-UE) | 153 |
| 6.1.6 | MPE 缓解 | 155 |
| 6.2 | M-TRP 增强 | 156 |
| 6.2.1 | M-TRP PDCCH 增强 | 156 |
| 6.2.2 | M-TRP PUCCH 增强 | 162 |
| 6.2.3 | M-TRP PUSCH 增强 | 166 |
| 6.2.4 | M-TRP 小区间增强 | 174 |
| 6.2.5 | M-TRP 波束管理增强 | 176 |
| 6.2.6 | M-TRP HST-SFN 增强 | 180 |
| 6.3 | SRS 增强 | 184 |
| 6.3.1 | SRS 灵活性增强 | 184 |
| 6.3.2 | SRS 天线切换增强 | 185 |
| 6.3.3 | SRS 容量和覆盖增强 | 187 |
| 6.4 | CSI 反馈增强 | 189 |
| 6.4.1 | M-TRP CSI 增强 | 189 |
| 6.4.2 | 考虑 FDD 互易性的 CSI 增强 | 191 |
| | 参考文献 | 192 |
| 第 7 章 | 终端射频 | 194 |
| 7.1 | 频谱相关 | 194 |
| 7.1.1 | 概述 | 194 |

| | | |
|--------------|-------------------|------------|
| 7.1.2 | 引入带宽组合集 BCS4 | 194 |
| 7.1.3 | 高功率终端 | 196 |
| 7.2 | NR FR1 增强 | 198 |
| 7.3 | NR FR2 增强 | 202 |
| 7.3.1 | 概述 | 202 |
| 7.3.2 | 频段间载波聚合增强 | 202 |
| 7.3.3 | 上行 gap 校准 | 206 |
| 7.4 | 测试增强 | 209 |
| 7.4.1 | 概述 | 209 |
| 7.4.2 | FR2 测试增强 | 210 |
| 7.4.3 | MIMO OTA | 217 |
| 7.4.4 | SISO OTA | 218 |
| 7.4.5 | UE EMC | 220 |
| | 参考文献 | 222 |
| 第 8 章 | 无线网络切片 | 224 |
| 8.1 | 无线网络切片技术背景介绍 | 224 |
| 8.2 | Release 17 切片部署场景 | 226 |
| 8.3 | 预期切片定义 | 227 |
| 8.4 | 切片分组机制 | 227 |
| 8.5 | 切片感知的小区重选 | 229 |
| 8.5.1 | 背景介绍 | 229 |
| 8.5.2 | 切片感知的异频小区重选 | 229 |
| 8.5.3 | 切片感知的同频小区重选 | 233 |
| 8.6 | 切片特定的随机接入 | 234 |
| 8.6.1 | 背景介绍 | 234 |
| 8.6.2 | 切片特定的随机接入分区 | 234 |
| 8.6.3 | 切片特定的 RA 优先参数 | 238 |
| | 参考文献 | 239 |
| 第 9 章 | 定位增强 | 241 |
| 9.1 | 定位增强技术背景概述 | 241 |
| 9.2 | 定位增强技术目标需求 | 241 |
| 9.3 | R16 定位技术及流程 | 242 |
| 9.4 | R17 定位增强技术 | 246 |
| 9.4.1 | 接收和发送时延增强 | 246 |
| 9.4.2 | 基于角度的定位技术增强 | 247 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 9.4.3 多路径/非直接视线(NLOS)增强 | 248 |
| 9.4.4 非激活态 UE 定位增强 | 248 |
| 9.4.5 按需 DL-PRS | 249 |
| 9.4.6 降低定位时延 | 251 |
| 参考文献 | 253 |
| 第 10 章 多卡终端 | 255 |
| 10.1 概要 | 255 |
| 10.2 主动连接释放 | 256 |
| 10.3 基于语音业务的寻呼原因指示 | 259 |
| 10.4 拒绝寻呼请求 | 261 |
| 10.5 寻呼时隙碰撞控制 | 262 |
| 10.6 寻呼限制 | 264 |
| 参考文献 | 265 |
| 第 11 章 卫星接入 | 266 |
| 11.1 背景和需求 | 266 |
| 11.1.1 5G 卫星通信组网架构 | 266 |
| 11.1.2 5G 卫星通信类型 | 267 |
| 11.1.3 卫星通信移动性管理 | 269 |
| 11.2 3GPP R17 卫星通信关键特性 | 270 |
| 11.2.1 移动性注册更新 | 270 |
| 11.2.2 卫星通信下的 UE 寻呼 | 272 |
| 11.2.3 禁止区和服务区限制 | 274 |
| 11.2.4 卫星通信的 QoS 增强 | 275 |
| 11.2.5 卫星通信的法规监管 | 279 |
| 参考文献 | 280 |
| 第 12 章 定位业务 | 281 |
| 12.1 概述 | 281 |
| 12.1.1 背景与需求 | 281 |
| 12.1.2 架构模型与基本概念 | 281 |
| 12.2 定位业务中各网元功能 | 284 |
| 12.3 定位业务关键特性 | 287 |
| 12.4 定位业务流程 | 290 |
| 12.4.1 5GC-MT-LR 流程 | 290 |
| 12.4.2 5GC-MO-LR 流程 | 294 |

| | | |
|---------------|----------------------------------|------------|
| 12.4.3 | 5GC-NI-LR 流程 | 297 |
| 12.4.4 | 定位业务常见子流程 | 298 |
| 12.4.5 | 辅助数据广播流程 | 300 |
| | 参考文献 | 302 |
| 第 13 章 | 核心网网络切片 | 303 |
| 13.1 | 主要场景与研究问题 | 303 |
| 13.2 | 网络切片概述 | 304 |
| 13.3 | 网络切片的标识和选择;S-NSSAI 和 NSSAI | 305 |
| 13.4 | 网络切片的相关签约 | 307 |
| 13.5 | UE NSSAI 配置和 NSSAI 存储相关 | 308 |
| 13.5.1 | 概述 | 308 |
| 13.5.2 | 更新 UE 网络切片配置 | 311 |
| 13.6 | 详细的执行描述 | 311 |
| 13.6.1 | 概述 | 311 |
| 13.6.2 | 网络切片的服务 AMF 的选择 | 312 |
| 13.6.3 | 在网络切片中建立 PDU 会话 | 318 |
| 13.7 | 漫游场景的网络切片支持 | 319 |
| 13.8 | 与 EPS 互通场景的网络切片支持 | 320 |
| 13.9 | 配置 PLMN 中的网络切片可用性 | 322 |
| 13.10 | 接入层连接建立中包含受控运营商的切片 NSSAI | 323 |
| 13.11 | 网络切片的认证和授权 | 324 |
| 13.12 | 网络切片的接纳控制 | 325 |
| 13.13 | 可同时注册的网络切片组的功能支持 | 329 |
| 13.14 | UE 网络切片内的带宽限制功能 | 331 |
| 13.15 | 网络切片接入选择组功能 | 331 |
| | 参考文献 | 332 |
| 第 14 章 | 测距业务 | 333 |
| 14.1 | 背景概述 | 333 |
| 14.2 | 典型业务场景与应用案例 | 334 |
| 14.3 | 业务需求以及待解决的问题 | 337 |
| 14.4 | 测距业务与侧行链路定位技术在价值链中的意义 | 338 |
| | 参考文献 | 339 |
| 第 15 章 | 5G 后续演进展望 | 340 |
| 15.1 | Release 18 简介 | 340 |

| | | |
|--------|-------------------------|-----|
| 15.2 | 5G RAN Release 18 的主要立项 | 340 |
| 15.2.1 | 面向 EMBB 业务的功能增强 | 341 |
| 15.2.2 | 面向行业应用的功能增强 | 343 |
| 15.2.3 | 跨领域功能增强 | 346 |
| 15.3 | 5GC Release 18 的主要立项 | 350 |
| 15.3.1 | 终端与 AIoT 相关 | 350 |
| 15.3.2 | 车联网与垂直行业 | 356 |
| 15.3.3 | 人工智能/机器学习 | 362 |
| 15.3.4 | 其他增强 | 363 |
| | 参考文献 | 367 |
| | 缩略语 | 369 |

第 1 章

概 述

1.1 移动通信的发展历程

移动通信和互联网技术在最近几十年内获得了迅猛的发展,极大地改善了人们的生产、生活方式,促进了社会经济的快速发展。近 30 年来,地面蜂窝移动通信系统得到大规模的普及应用,成为全球 2/3 以上人口所使用的移动通信系统。截至目前,移动通信系统经历了五个发展阶段,从第一代发展到了现在的第五代,如图 1-1 所示。

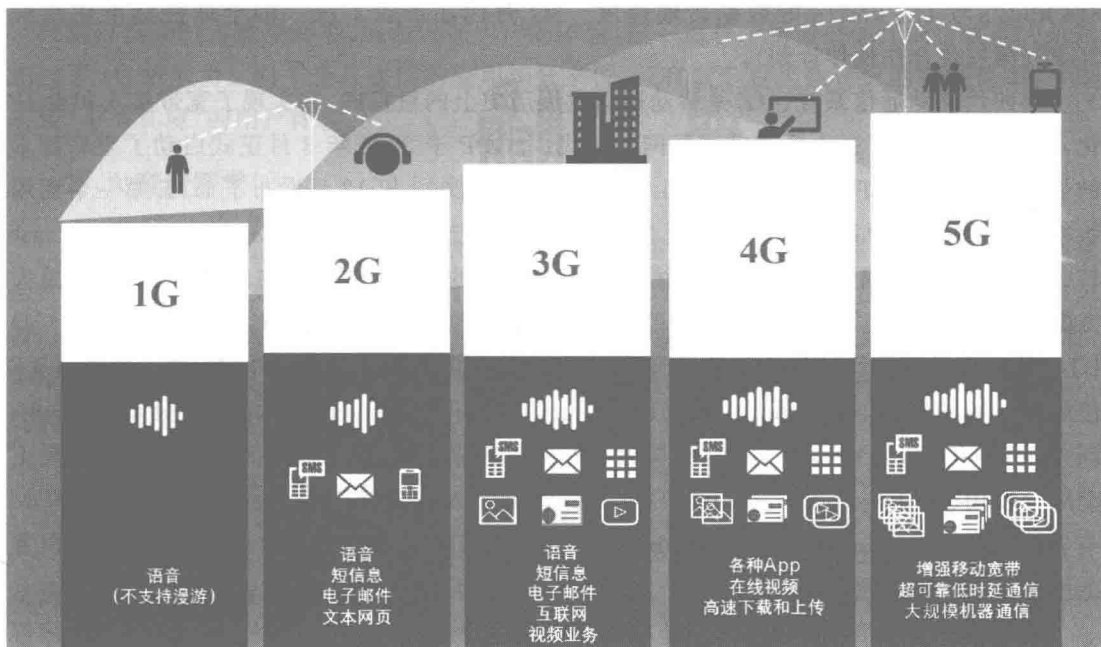


图 1-1 移动通信系统的发展历程

20 世纪 80 年代,第一代移动通信系统(1G)诞生,标志着人类进入了移动互联的时代。第一代移动通信系统使用模拟调制技术与频分多址接入(Frequency Division Multiple

Access, FDMA) 技术, 仅支持语音业务, 并且传输速率仅有 2.4 kbit/s, 通话质量较差, 可接入用户数量有限, 安全性和保密性较差。这时候的移动通信系统并没有形成全球统一的标准, 相关的通信标准有美国的移动电话系统 (AMPS)、英国的全球接入通信系统 (TACS) 和日本的电报电话系统 (NMT) 等。中国的 1G 研究是空白, 采用了英国的 TACS 作为我国的第一代移动通信系统。

第二代移动通信系统 (2G) 诞生于 20 世纪 90 年代, 不同于 1G 的模拟调制技术, 2G 采用了数字调制技术, 用户体验速率为 10 kbit/s, 峰值速率为 100 kbit/s。第二代移动通信系统采用了时分多址 (Time Division Multiple Access, TDMA) 和码分多址 (Code Division Multiple Access, CDMA) 技术。经过 1G 时代的标准混战, 第二代移动通信系统的主流标准只剩下欧洲的 GSM 和美国的 IS-95CDMA, 我国则引进了 GSM。2G 业务以语音和短信服务为主, 克服了模拟系统的缺点, 提高了语音质量和保密性, 并可进行省内、省际自动漫游。

21 世纪初期, 国际电信联盟 (ITU) 提出了 IMT-2000, 用于 2000 年左右的国际移动通信, 也就是第三代移动通信系统 (3G)。3G 融合了无线通信和互联网技术, 形成了一种全新的移动通信体系。3G 不仅支持传统的话音、短信业务, 还可以处理图像、音乐等多媒体业务, 同时还支持诸如远程会议等商业应用。3G 支持的移动终端上网功能开启了移动互联网时代。ITU 确定了全球四大 3G 标准, 分别是 WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA 和 WIMAX, 其中 TD-SCDMA 是由中国提出的。第三代移动通信系统可以提供 2 Mbit/s、384 kbit/s 与 144 kbit/s 的数据传输速度。3G 时代还形成了统一的全球性标准化组织 3GPP (第三代合作伙伴计划)。

第四代移动通信系统 (4G) 是移动通信发展历史上的里程碑, 它实现了宽带接入和全 IP 化, 使人类社会真正进入了移动互联网的时代。3GPP 于 2005 年 3 月正式启动了空口技术的长期演进 (Long Term Evolution, LTE) 项目, 并于 2008 年 12 月发布了 LTE 第一个商用版本 Release 8 (R8) 系列规范。截至 2022 年, 3GPP 已经发布了 Release 9 (R9) 到 Release 17 (R17) 共 9 个增强型规范, 并将持续进行后续版本的演进。3GPP 在制定 LTE 无线接入方案的同时, 还制定了新的核心网规范, 即演进的分组核心网 (Evolved Packet Core, EPC)。LTE 的一个重要的设计目标是灵活支持不同的载波带宽 (最高可达 20 MHz)。另外, LTE 使用统一的帧结构, 支持频分双工 (Frequency Division Duplex, FDD) 和时分双工 (Time Division Duplex, TDD), 即支持对称频谱和非对称频谱的使用。LTE 的基本传输方案是正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)。此外, LTE 中 OFDM 与多输入多输出 (Multiple Input Multiple Output, MIMO) 技术的结合使用, 能使接收机复杂度保持在较低的水平。

第五代移动通信系统 (5G) 与 4G 相比, 具有更高的速率、更小的延迟、更高的能效, 能够支持大规模超密集的连接, 为万物互联的实现奠定了基础。同时, 5G 不仅在传统通信技术上取得了突破, 还初步融合了大数据、AI 等新兴技术, 极大地扩展了应用场景。5G 将满足增强移动宽带 (eMBB)、超高可靠低时延通信 (uRLLC) 和大规模机器通信 (mMTC) 三大应用场景的需求。在满足用户体验的同时, 还为工业控制、自动驾驶、远程医疗、智慧家居、智

慧城市等应用提供了支撑。此外, NR 还引入了网络切片功能, 该技术通过将物理网络设施划分为多个虚拟网络, 使得不同类型的业务、不同的用户可以享受特定的网络服务, 增强了用户体验。

1.2 5G 系统的业务需求与性能指标

1.2.1 5G 系统的业务需求

5G 三大应用场景包含了人们生产、生活的方方面面, 涉及衣食住行等各种领域, 尤其是部分特殊场景, 例如密集住宅区、演唱会、办公室、高铁和部分广域覆盖等场景。这些场景对连接密度、流量密度、移动性、传输速率、定位精度等具有较高的要求, 对 5G 系统形成了新的挑战, 对 5G 通信系统的设计提出了更高的要求。

1. 高速率需求

未来 5~10 年的商业需求要求 5G 能够提供更高的速率。增强现实 (Augmented Reality, AR)、虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 和全息通信等沉浸式交互多媒体业务为高速率传输带来了挑战。例如在用 AR/VR 观看视频时, 需要多角度、全方位地将采集到的超高清视频数据及时传输至终端, 从而保证用户的体验, 这一过程中所需要的无线传输能力远远超过了 4G 的能力。对于全息通信的应用场景来说, 只有满足更大数量级的传输速率, 才能实现“身临其境”的用户体验。

2. 大容量需求

在一些用户密集的区域, 存在极大的数据吞吐量需求和用户容量需求, 比如, 大型演唱会的场景。5G 需要支持每平方千米 100 万终端的接入, 而 4G 网络无法满足这种需求, 只有通过 5G 广覆盖、大连接的能力, 才可以让海量的终端接入网络。这类需求在智慧家居、物联网、智慧电网、智慧城市、物流实时追踪等方面具有重要意义, 万物互联、无线医疗、无人驾驶等都将成为现实。

3. 超高可靠、低时延需求

通信系统在满足传输速率需求的基础上, 还需要让用户获得“即时连接”的极致体验, 这就需要等待的时间被尽量压缩。这种需求在工业生产、远程医疗、无人驾驶和运输安全保障等场景中尤为重要, 因为任何细小的差错、延迟带来的后果将是非常严重的。超高可靠、低时延通信是 5G 的三大典型应用场景之一。

4. 高速移动需求

高铁已经成为很多人远途出行的主要交通工具, 高峰时期的高铁单日客流量可破千万

次,高速移动下的通信保障已经不再是小众场景。为了在高铁、地铁等高速移动环境下也能使用户获得一致的业务体验,5G 系统需要满足高速移动的需求,从而同时为静态用户、动态用户、高峰用户提供最佳的用户体验。

5. 高精度定位需求

4G 时代涌现了打车软件、共享单车等基于用户位置的新应用,这些都极大地方便了我们的交通出行。4G 定位主要针对室外场景,定位精度不高,并且 4G 系统难以满足一些新应用、新场景对定位精度的需求,例如机场、车站、商场、医院等人员密集场所的定位需求。室内高精度定位技术可以为我们提供高效的引导服务,提高运营效率;此外,在地下矿井等特殊场所,出现突发事件或自然灾害时,借助于高精度定位技术,人们可以快速地紧急避险,救援部门也可以迅速掌握被困人员的精确位置,从而可以灵活地部署救援工作,达到高效救援的目的;物联网和车联网对基于位置的服务提出了更高的要求,定位精度甚至要达到厘米级,因此高精度定位是 5G 需求的一个新方向。

1.2.2 5G 系统的性能指标

与 4G 相比,5G 应用场景更加丰富,关键性能指标也更加多样化。ITU-R 为 5G 系统定义了 3 种应用场景和 8 个关键性能指标,包括峰值速率、用户体验速率、时延、移动性、连接密度、流量密度、频谱效率和能量效率,见表 1-1^[1]。其中,用户体验速率、时延和连接密度是 5G 最重要的 3 个指标。5G 的用户体验速率可达 100 Mbit/s~1 Gbit/s;空口时延低至 1 ms;连接密度可达到 100 万连接数/平方千米。

表 1-1 5G 关键性能指标

| 指标 | 指标说明 |
|--------|--------------------------|
| 峰值速率 | 理想条件下,终端的最大可达数据速率 |
| 用户体验速率 | 真实网络环境下,用户可获得的传输速率 |
| 时延 | 数据包从源节点开始传输,到目的节点正确接收的时间 |
| 移动性 | 在保证服务质量的条件下,最大的相对移动速度 |
| 连接密度 | 单位区域内的总连接 |
| 流量密度 | 单位区域内的总流量 |
| 频谱效率 | 每个小区内单位频谱资源提供的吞吐量 |
| 能量效率 | 每焦耳能量所能传输的比特数 |

ITU 在《IMT 愿景建议书》中提出的 IMT-2020 与 IMT-Advanced 的主要性能指标对比如图 1-2 所示。图 1-2 展示了 IMT-2020 的关键能力及其示意性的目标值,其目的是更详细地为 IMT-2020 需求提供一个初步的宏观指导,可以看到,这些目标值有的是绝对数值,有的是相对于 IMT-Advanced 能力的相对数值。这些关键能力的目标值不需要同时满足,甚至某些目标在一定程度上是相互排斥的。