

江苏省邮电规划设计院有限责任公司专家团队
精|品|力|作

5G丛书

5G:2020后的移动通信

朱晨鸣 王强 李新 何浩 陈旭奇 房树森 等 编著

5G: Mobile Communications
for 2020 and Beyond



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

江苏省邮电规划设计院有限责任公司专家团队
精|品|力|作

5G丛书

5G:2020后的移动通信

朱晨鸣 王强 李新 何浩 陈旭奇 房树森 等 编著

5G: Mobile Communications
for 2020 and Beyond

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

5G : 2020后的移动通信 / 朱晨鸣等编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2016. 2

(5G丛书)

ISBN 978-7-115-41562-2

I. ①5… II. ①朱… III. ①无线电通信—移动通信—通信技术 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第011356号

内 容 提 要

本书先从 5G 需求与愿景、5G 研究项目与标准化进展等方面入手介绍了 5G 的引入背景和现状,接着说明为达到 5G 的需求使用的无线传输新技术和满足业务应用的弹性需求而设计的新的网络架构,并分析了 5G 可能的频谱资源,最后展望了 5G 的未来应用发展。

本书的主要读者对象为科研院所、电信设备制造商、电信运营商、电信设备提供商、电信咨询业从业人员,以及关注通信行业/技术发展的相关人士。

◆ 编 著 朱晨鸣 王 强 李 新 何 浩

陈旭奇 房树森 等

责任编辑 杨 凌

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市海波印务有限公司印刷

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 15

2016 年 2 月第 1 版

字数: 256 千字

2016 年 2 月河北第 1 次印刷

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

前言

自 2009 年 1 月我国工业和信息化部颁发了 WCDMA、cdma2000 以及 TD-SCDMA 三张牌照以来,我国移动通信正式进入了移动宽带化的 3G 时代。2013 年 12 月,工业和信息化部又向中国移动、中国电信、中国联通同时颁发了 TD-LTE 牌照,随后中国电信与中国联通又取得了 LTE FDD 牌照,标志着中国移动通信正式进入 4G 时代。

随着移动通信网络的发展,人们对移动互联网的需求呈现爆发式增长,这就要求移动通信系统向着速率更高、时延更低的方向发展,5G 成为通信业界普遍关注的主题,各通信厂商、科研机构、运营商都对 5G 抱有很高的期望,并展开了广泛的研究工作。

5G 目前仍处于技术研究和标准化阶段,世界上主要的研究机构和标准化组织有 ITU-R、3GPP、NGMN、METIS、WWRF、5G NOW 等,中国的 IMT-2020(5G)推进组和 CCSA 也开始了对 5G 的研究和标准化工作。各大通信厂商和运营商都积极参与到 5G 技术的研究中来。

5G 相对于 4G 既是演进的又是革命性的,它是 LTE 持续演进的结果,同时在技术目标和网络性能上又大大超越了 4G 的能力,甚至有人认为 5G 是移动通信系统的“终极形态”。5G 作为通信行业的热点受到业界关注,但相关文献很少,尤其在国内 4G 建设如火如荼的情况下,目前对于 5G 的系统介绍仍然是缺失的。

本书作者是江苏省邮电规划设计院从事移动通信网络研究的专业技术人员,长期跟踪研究 LTE 系统架构、规范与组网方案,跟踪 LTE-Advanced 标准和技术进展,长期关注 IMT-2020、CCSA、ITU-R、3GPP、NGMN、METIS、WWRF、5G PPP、5G NOW、

北美 IEEE、韩国 5G 论坛、日本 ARIB 等组织和机构的 5G 技术及标准进展。本书在编写中融入了作者在长期从事移动通信网络规划设计中积累的经验 and 心得，可以使读者更好地理解 5G 系统架构及网络规划等内容。

本书是一本以第五代移动通信技术（5G）介绍为主要内容的书籍。首先介绍了移动通信系统的技术发展和 5G 需求与愿景，全球 5G 研究与标准化情况及通信业界对 5G 的看法，接着全面阐述了 5G 关键技术，重点从无线传输、网络架构、组网场景、频谱选择等方面进行了系统的介绍，最后对 5G 网络的部署进行了探讨。

本书对 5G 技术的介绍总体概念突出，内容清晰，具有前瞻性、专业性，旨在普及 5G 技术研究进展及网络演进的可能方向，希望能够为通信业相关人员了解 5G 关键技术、5G 网络结构及组网方案等提供参考。

本书由朱晨鸣策划和主编，朱晨鸣、王强负责全书的结构和内容的掌握与控制。朱晨鸣、王强、李新、何浩、陈旭奇、房树森、彭雄根、贝斐峰、黄文金等人参与了全书内容的撰写。

书中不当之处，恳请读者批评指正。

作者

2015 年 12 月于南京

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 移动通信技术发展	2
1.2 后 4G 网络演进 (LTE-A)	5
1.3 5G 路线图	9
第 2 章 5G 需求与愿景	17
2.1 5G 愿景	18
2.2 5G 需求与驱动力	18
2.2.1 技术驱动	18
2.2.2 市场驱动	19
2.2.3 业务和用户需求	20
2.3 技术目标	21
2.4 5G 的应用	24
2.4.1 应用场景	24
2.4.2 虚拟现实	24
2.4.3 智慧城市	25
2.4.4 物联网与无所不在的通信	25

2.4.5 车联网与自动驾驶	26
2.5 5G 的挑战	26
2.5.1 性能挑战	26
2.5.2 技术储备	27
2.5.3 频谱资源	27
2.6 5G 发展路径	27
2.7 小结	28
第3章 5G 研究项目与标准化进展	29
3.1 标准化组织与研究机构	30
3.2 5G 标准化进展	32
3.2.1 ITU-R	32
3.2.2 3GPP	33
3.2.3 NGMN	36
3.3 欧洲	37
3.3.1 METIS	37
3.3.2 5G PPP	38
3.3.3 5G NOW	39
3.4 亚太	39
3.4.1 北美 IEEE	39
3.4.2 韩国 5G 论坛	41
3.4.3 日本 ARIB	41
3.5 中国	42
3.5.1 IMT-2020	42
3.5.2 CCSA	43
3.6 小结	43
第4章 通信业界看 5G	45
4.1 电信设备制造商看 5G	46
4.1.1 爱立信	46

4.1.2 华为	49
4.1.3 诺基亚	50
4.1.4 中兴	51
4.1.5 大唐	52
4.2 电信运营商看 5G	58
4.2.1 中国移动	58
4.2.2 NTT DoCoMo	69
4.2.3 SK Telecom	72
4.3 小结	74
第 5 章 5G 无线传输技术	75
5.1 LTE-A 技术发展	76
5.2 MIMO 增强技术	77
5.2.1 Massive MIMO	77
5.2.2 网络 MIMO	88
5.3 新型多址技术	93
5.3.1 多址技术发展	94
5.3.2 PDMA	94
5.3.3 SCMA	97
5.3.4 MUSA	98
5.4 双工技术	100
5.5 多载波技术	107
5.5.1 OFDM 改进	108
5.5.2 超奈奎斯特技术 (FTN)	119
5.6 多 RAT 资源协调	121
5.7 调制编码技术	122
5.7.1 链路级调制编码	122
5.7.2 网络编码	126
5.7.3 链路自适应	129

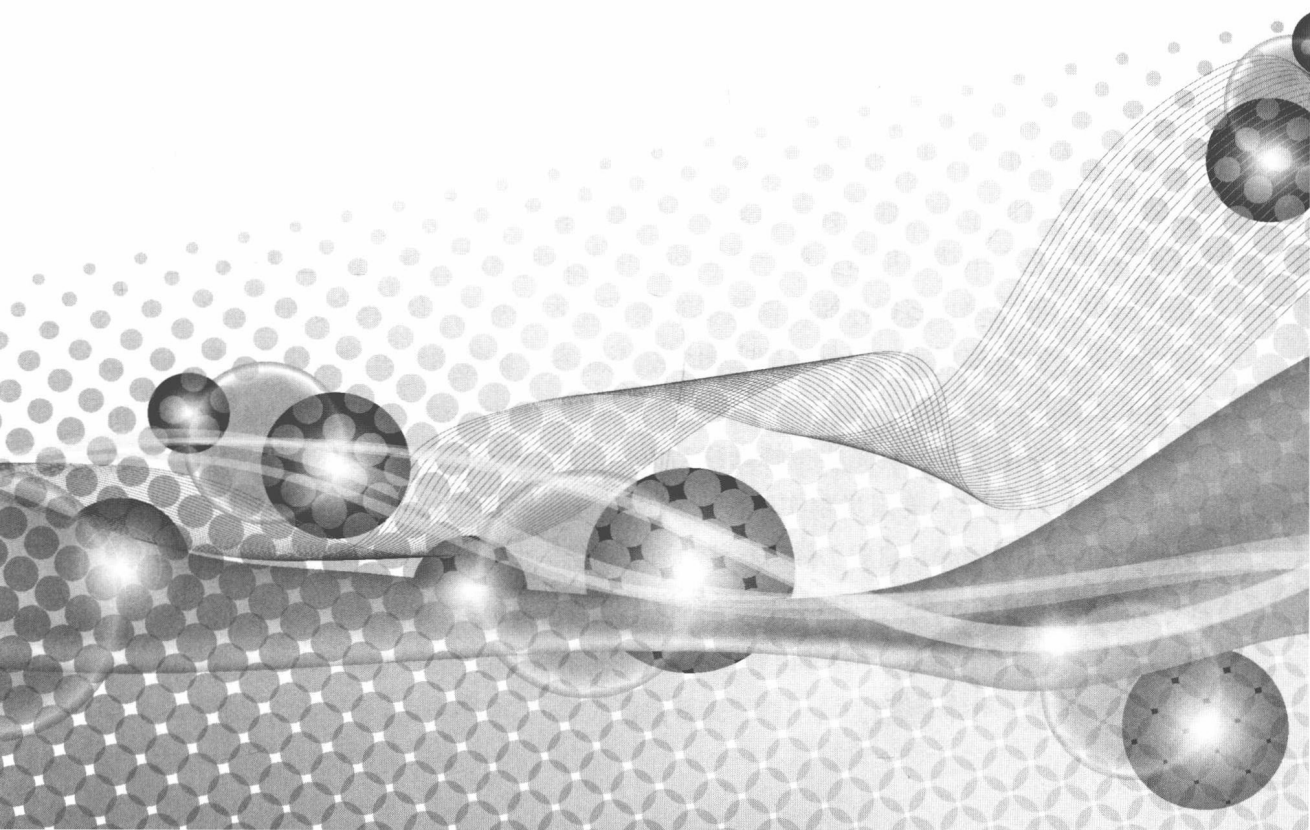
5.8 小结	130
第6章 5G 网络架构与组网技术	131
6.1 概述	132
6.2 新一代网络架构	133
6.2.1 5G 网络架构需求	133
6.2.2 HetNet 与 C-RAN 架构	135
6.2.3 网络扁平化	142
6.2.4 网格化组网	143
6.2.5 SON	143
6.2.6 无线 Mesh 网	145
6.2.7 按需组网	146
6.3 无线资源调度与共享	147
6.4 M2M	149
6.4.1 应用场景	149
6.4.2 关键技术	149
6.5 D2D	150
6.5.1 应用场景	150
6.5.2 关键技术	154
6.6 云网络	155
6.6.1 SDN	155
6.6.2 NFV	158
6.6.3 网络能力开放	161
6.6.4 多接入融合	163
6.7 超密网络	163
6.8 低时延、高可靠通信	167
6.9 5G 网络安全	167
6.9.1 5G 安全架构	167
6.9.2 5G 安全关键技术	169

6.10 小结	170
第7章 5G 频谱	171
7.1 概述	172
7.2 5G 频谱选择	175
7.2.1 5G 频谱需求	175
7.2.2 现有频谱分配	181
7.2.3 潜在可用频谱	183
7.3 频谱共享	185
7.3.1 授权频谱	186
7.3.2 非授权频谱	186
7.3.3 授权共享访问	188
7.4 更高频段的使用	190
7.4.1 毫米波通信	190
7.4.2 可见光通信	193
7.4.3 超高频信号传播	194
7.5 频谱再利用	198
7.5.1 广电频谱	198
7.5.2 雷达频谱	199
7.6 认知无线电与频谱感知	200
7.6.1 认知无线电	200
7.6.2 弱信号频谱感知	202
7.6.3 频谱优化	203
7.7 小结	204
第8章 5G 网络部署探讨	205
8.1 挑战与方向	206
8.2 网络建设方式	207
8.2.1 集中建设方式	207
8.2.2 共享建设方式	208

8.3 新的设备形态	211
8.3.1 小基站的引入	211
8.3.2 小基站建设方式	214
8.4 小结	219
总结与展望	221
缩略语	223
参考文献	228

第 1 章

概 述



1.1 移动通信技术发展

在过去的 30 多年时间里，移动通信经历了从语音业务到移动宽带数据业务的飞跃式发展，不仅深刻地改变了人们的生活方式，也极大地促进了社会和经济的飞速发展。

20 世纪 70 年代末，美国 AT&T 公司研制出了第一套蜂窝移动电话系统。第一代无线网络技术的一大突破就在于它去掉了将电话连接到网络的用户线，用户第一次能够在移动的状态下拨打电话。第一代移动通信的各种蜂窝网系统有很多相似之处，但是也有很大的差异，它们只能提供基本的语音会话业务，不能提供非语音业务，并且保密性差，容易被窃听，而且它们之间还互不兼容，显然移动用户无法在各种系统之间实现漫游。

第一代移动通信系统是模拟蜂窝移动通信系统，时间是 20 世纪 70 年代中期至 80 年代中期。1978 年，美国贝尔实验室研制成功先进移动电话系统（AMPS, Advanced Mobile Phone System），建成了蜂窝状移动通信系统。而其他工业化国家也相继开发出蜂窝式移动通信系统。第一代移动通信系统相比以前的通信系统，最重要的突破是贝尔实验室在 20 世纪 70 年代提出的蜂窝网的概念。蜂窝网，即小区制，由于实现了频率复用，因而大大提高了系统容量。

第一代移动通信系统的典型代表是美国的 AMPS 和后来的改进型总接入通信系统 (TACS, Total Access Communications System), 以及 NMT 和 NTT 等。AMPS 使用 800MHz 频带, 在北美、南美和部分环太平洋国家被广泛采用; TACS 使用 900MHz 频带, 分为 ETACS(欧洲)和 NTACS(日本)两种版本, 英国、日本和部分亚洲国家广泛采用此标准。

第一代移动通信系统的主要特点是采用频分复用, 语音信号为模拟调制, 每隔 30/25kHz 一个模拟用户信道。第一代系统在商业上取得了巨大的成功, 但是其弊端也日渐显露出来:

- ① 频谱利用率低;
- ② 业务种类有限;
- ③ 无高速数据业务;
- ④ 保密性差, 易被窃听;
- ⑤ 设备成本高;
- ⑥ 体积大, 重量大。

为了解决模拟系统中存在的这些根本性技术缺陷, 数字移动通信技术应运而生, 并迅速发展起来, 这就是以 GSM 和 IS-95 为代表的第二代移动通信系统。

第二代移动通信系统主要有 GSM、D-AMPS、PDC 和 IS-95 CDMA 等。在我国运营的第二代移动通信系统主要以 GSM 和 CDMA 为主。第二代移动通信系统在引入数字无线电技术以后, 不仅改善了语音通话质量, 提高了保密性, 防止了并机盗打, 而且也为用户提供无缝的国际漫游。

① GSM 发源于欧洲, 它是作为全球数字蜂窝通信的 GPRS 标准而设计的, 支持 64kbit/s 的数据速率, 可与 ISDN 互联。GSM 使用 900MHz 和 1800MHz 频段。GSM 采用 FDD 双工方式和 TDMA 多址方式, 每载频支持 8 个信道, 信号带宽 200kHz。GSM 标准体制较为完善, 技术相对成熟, 不足之处是相比模拟系统容量增加不多, 仅仅为模拟系统的两倍左右。

② DAMPS(先进的数字移动电话系统)也称为 IS-54(北美数字蜂窝), 使用 800MHz 频段, 是两种北美数字蜂窝标准中推出较早的一种, 使用 TDMA 多址方式。

③ IS-95 是北美的另一种数字蜂窝标准, 使用 800MHz 或 1900MHz 频段, 采用 CDMA 多址方式, 已成为美国 PCS(个人通信系统)网的首选技术。

由于第二代移动通信系统以传输语音和低速数据业务为目的,从1996年开始,为了解决中速数据传输问题,又出现了2.5代的移动通信系统,如GPRS和IS-95B,主要提供的服务仍然是语音服务以及低速率数据服务。网络的发展促进了数据和多媒体通信业务的快速发展,所以第三代移动通信的目标就是移动宽带多媒体通信。从发展前景来看,由于自有的技术优势,CDMA技术已经成为第三代移动通信的核心技术。为实现上述目标,对3G无线传输技术(RTT, Radio Transmission Technology)提出了以下要求:

① 高速传输以支持多媒体业务:室内环境至少2Mbit/s;室内外步行环境至少384kbit/s;室外车辆运动中至少144kbit/s;卫星移动环境至少9.6kbit/s。

② 传输速率能够按需分配。

③ 上下行链路能适应不对称需求。

第三代移动通信技术简称3G,它是一种真正意义上的宽带移动多媒体通信系统,能提供高质量的宽带多媒体综合业务,并且实现了全球无缝覆盖、全球漫游。第三代移动通信系统最早由国际电信联盟(ITU)于1985年提出,当时被称为未来公众陆地移动通信系统(FPLMTS, Future Public Land Mobile Telecommunication System),1996年更名为IMT-2000(International Mobile Telecommunication-2000),意即该系统工作在2000MHz频段,最高业务速率可达2000kbit/s,其容量是第二代移动通信技术的2~5倍,目前最具代表性的有美国提出的MC-CDMA(cdma2000)、欧洲和日本提出的WCDMA以及中国提出的TD-SCDMA。1999年11月5日,国际电联ITU-R TG8/1第18次会议通过了“IMT-2000无线接口技术规范”建议,其中我国提出的TD-SCDMA技术写在了第三代无线接口规范建议的IMT-2000 CDMA TDD部分中。

第四代移动通信技术的概念可称为宽带接入和分布网络,具有非对称的超过2Mbit/s的数据传输能力。它包括宽带无线固定接入、宽带无线局域网、移动宽带系统和交互式广播网络。第四代移动通信标准比第三代标准拥有更多的功能。第四代移动通信可以在不同的固定、无线平台和跨越不同的频带的网络中提供无线服务,可以在任何地方用宽带接入互联网(包括卫星通信和平流层通信),能够提供定位定时、数据采集和远程控制等综合功能。此外,第四代移动通信系统是集成多功能的宽带移动通信系统,是宽带接入IP系统。4G能够以100Mbit/s以上的速率下载,能够满足几乎所有用户对无线服

务的要求。通信制式的演进趋势如图 1-1 所示。

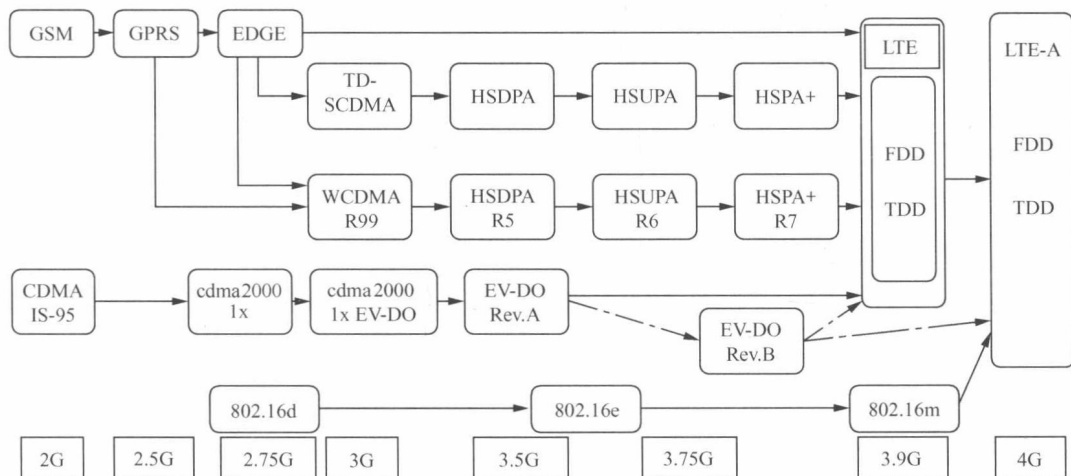


图 1-1 通信制式演进趋势

移动互联网和物联网作为未来移动通信发展的两大主要驱动力，为 5G 提供了广阔的应用前景。面向 2020 年及未来，数据流量的千倍增长、千亿设备连接和多样化的业务需求都将对 5G 系统设计提出严峻挑战。与 4G 相比，5G 将支持更加多样化的场景，融合多种无线接入方式，并充分利用低频和高频等频谱资源。同时，5G 还将满足网络灵活部署和高效运营维护的需求，能大幅提升频谱效率、能源效率和成本效率，实现移动通信网络的可持续发展。

1.2 后 4G 网络演进 (LTE-A)

LTE (Long Term Evolution, 长期演进) 是由 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project, 第三代合作伙伴计划) 组织制定的 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 通用移动通信系统) 技术标准的长期演进, 于 2004 年 12 月在 3GPP 多伦多 TSG RAN#26 会议上正式立项并启动。LTE 系统引入了 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用) 和 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output, 多输入多输出) 等关键传输技术, 显著增加了频谱效率和数据传输速率 (20MHz 带

宽, 2×2 MIMO, 在 64QAM 情况下, 理论下行最大传输速率为 201Mbit/s, 除去信令开销后大概为 140Mbit/s, 但根据实际组网情况以及终端能力限制, 一般认为下行峰值速率为 100Mbit/s, 上行为 50Mbit/s), 并支持多种带宽分配: 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz 和 20MHz 等, 且支持全球主流 2G/3G 频段和一些新增频段, 因而频谱分配更加灵活, 系统容量和覆盖也显著提升。LTE 系统网络架构更加扁平化、简单化, 减少了网络节点和系统复杂度, 从而减小了系统时延, 也降低了网络部署和维护成本。LTE 系统支持与其他 3GPP 系统互操作。LTE 系统有两种制式: LTE FDD 和 TD-LTE, 即频分双工 LTE 系统和时分双工 LTE 系统, 两者技术的主要区别在于空中接口的物理层上 (如帧结构、时分设计、同步等)。LTE FDD 系统空口上下行传输采用一对对称的频段接收和发送数据, 而 TD-LTE 系统上下行则使用相同的频段在不同的时隙上传输, 相对于 FDD 双工方式, TDD 有着较高的频谱利用率。

LTE 的核心技术主要包括 OFDM、MIMO、调制与编码技术、高性能接收机、智能天线技术、软件无线电技术、基于 IP 的核心网和多用户检测技术等。

(1) OFDM

OFDM 是一种无线环境下的高速传输技术, 其主要思想是在频域内将给定信道分成许多正交子信道, 在每个子信道上使用一个子载波进行调制, 各子载波并行传输。尽管总的信道是非平坦的, 即具有频率选择性, 但是每个子信道是相对平坦的, 在每个子信道上进行的是窄带传输, 信号带宽小于信道的相应带宽。OFDM 技术的优点是可以消除或减小信号波形间的干扰, 对多径衰落和多普勒频移不敏感, 提高了频谱利用率, 可实现低成本的单波段接收机。OFDM 的主要缺点是功率效率不高。

(2) MIMO

MIMO 技术是指利用多发射、多接收天线进行空间分集的技术, 它采用的是分立式多天线, 能够有效地将通信链路分解成为许多并行的子信道, 从而大大提高容量。信息论已经证明, 当不同的接收天线和不同的发射天线之间互不相关时, MIMO 系统能够很好地提高系统的抗衰落和噪声性能, 从而获得巨大的容量。例如, 当接收天线和发射天线数目都为 8 根, 且平均信噪比为 20dB 时, 链路容量可以高达 42bit/s/Hz, 这是单天线系统所能达到容量的 40 多倍。因此, 在功率带宽受限的无线信道中, MIMO