



现代5G

移动通信技术

张功国 李彬 赵静娟 编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



现代 5G

移动通信技术

张功国 李彬 赵静娟 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书基于现代移动通信的发展,对5G移动通信技术进行相关介绍,主要包括七章,分别为移动通信、5G移动通信技术、覆盖增强技术、频效提升技术、频谱拓展技术、能效提升技术、其他相关技术。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

现代5G移动通信技术 / 张功国, 李彬, 赵静娟编著. —北京:北京理工大学出版社, 2019.3

ISBN 978-7-5682-5756-5

I. ①现… II. ①张… ②李… ③赵… 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(2018)第130756号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 定州市新华印刷有限公司

开 本 / 710毫米 × 1000毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 230千字

版 次 / 2019年3月第1版 2019年3月第1次印刷

定 价 / 69.00元

责任编辑 / 张荣君

文案编辑 / 张荣君

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



作者简介

张功国，男，1979年12月生，江西萍乡人，汉族，硕士学位、高级工程师、重庆市优秀青年设计师。任职于重庆邮电大学重邮信科集团设计公司，主要从事通信新技术应用研究，发表论文十余篇，发明专利两项，并获得重庆市优秀咨询成果奖、优秀勘察设计奖九项。

李彬，男，1977年7月生，四川乐至人，汉族，硕士学位，高级工程师。任职于重庆邮电大学重邮信科集团设计公司，主要从事通信新技术应用等研究，发表论文十余篇，主编重庆市地方建设标准两项，参编国家标准一项，并获得重庆市优秀咨询成果奖、优秀勘察设计奖六项。

赵静娟，女，1982年3月生，四川崇州人，汉族，重庆邮电大学计算机科学与技术专业本科毕业，工程师。任职于中国移动通信集团重庆有限公司，主要从事通信新技术应用研究工作，发表论文及企业内部技术文献多项。



移动通信技术的发展正在逐渐改变社会，并且完全走进了民众的生活，成为人们生活中必不可少的一部分。但是，随着时代的发展和社会的进步，当前的移动通信技术将难以满足人们对通信网络各方面的需求。国际电信联盟于2012年启动了对第五代移动通信技术（5G）的标准化工作，5G移动通信技术正式走入人们的视野，包括美国、欧盟、英国、韩国和中国在内的移动通信产业较为发达的国家或组织都相继启动了对5G移动通信技术的研究与部署工作。移动通信在给人们带来极致体验和便捷生活的同时，也对移动通信技术提出了新的要求。

本书立足于现代移动通信的发展，针对5G移动通信技术进行了相关的探讨。5G移动通信是基于第四代移动通信的演进，其未来的发展方向必定以“人的体验”为中心，在终端、无线、业务、网络等领域进行融合及创新。本书主要针对5G移动通信技术在增加覆盖、增加信道、增加带宽等方面的要求，对其相关技术进行总结概述，主要包括以下五个方面：一是覆盖增强技术；二是频效提升技术；三是频谱拓展技术；四是能效提升技术；五是其他相关技术。另外，本书通过对高效传输、全双工通信及新型网络架构等技术的阐述加深人们对5G的了解。世界的发展推动技术的演化，保持对新兴技术的思考和研究有利于社会的进步。

本书由重庆邮电大学重邮信科集团设计公司张功国负责统稿，并负责第一章至第二章以及第六章的编著；李彬负责第四章和第五章的编著；赵静娟负责第三章和第七章的编著。

在编著本书的过程中，笔者查阅了大量的文献资料，在此对相关文献的作者表示感谢。另外，由于笔者的时间和精力有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者和专家批评指正。



目 录

第一章 移动通信	1
第一节 移动通信概述	1
第二节 移动通信的发展历程	7
第三节 5G 移动通信	17
第二章 5G 移动通信技术	30
第一节 5G 移动通信技术基础	30
第二节 5G 移动通信技术发展现状	39
第三节 5G 移动通信技术统一标准	43
第四节 5G 移动通信技术发展趋势	51
第三章 覆盖增强技术	59
第一节 LTE 覆盖增强	59
第二节 D2D 通信系统	66
第三节 M2M 技术	78
第四节 其他技术	87
第四章 频效提升技术	97
第一节 多入多出技术	97
第二节 非正交多址技术	106
第三节 FBMC 技术	113
第四节 空间调制技术	119

第五章 频谱拓展技术	131
第一节 认知无线电技术	131
第二节 毫米波通信技术	142
第三节 可见光通信技术	152
第四节 全双工通信技术概述	159
第六章 能效提升技术	167
第一节 绿色通信	167
第二节 干扰管理	175
第三节 干扰对齐	187
第四节 资源管理	192
第七章 其他相关技术	201
第一节 新型网络架构	201
第二节 自组织网络技术	210
第三节 情境感知技术	217
第四节 超密集异构网络技术	224
参考文献	232

第一章 移动通信

第一节 移动通信概述

一、通信与移动通信

(一) 通信

1. 通信的概念

通信在不同的环境下有不同的解释。在出现电波传递通信之后,通信被单一地解释为信息的传递,是指由一地向另一地进行信息的传输与交换,其目的是传输消息。然而,在人类实践过程中,随着社会生产力的发展,通信对传递消息的要求不断提升,从而推动人类文明不断进步。在各种各样的通信方式中,利用“电”来传递消息的通信方法称为电信,这种通信方式具有迅速、准确、可靠等特点,而且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制,因此得到了飞速发展和广泛应用。

在古代,人们通过驿站、飞鸽传书、烽火报警、符号、身体语言、眼神、触碰等方式进行信息传递。随着现代科学水平的飞速发展,相继出现了无线电、固定电话、移动电话、互联网,甚至视频电话等各种通信方式。通信技术拉近了人与人之间的距离,提高了经济效率,深刻地改变了人类的生活方式和面貌。

2. 通信方式

通信方式,既包括古代的通信方式,也包括近代和现代的通信方式。古代的通信方式以视觉声音传递为主,如烽火台、击鼓、旗语;近代的通信方式以实物传递为主,如驿站快马接力、信鸽、邮政通信等;现代通信方式往往以电信方式为主,如电报、电话、快信、短信、E-mail等。

对于远距离通信来说,以前的通信方式最快也要几天的时间,而现代通信注重即时通信。作为自然科学来说,邮政通信更能体现人与自然的和



谐与沟通,但是,在当今注重经济利益的时代,人们往往以经济利益优先,因此邮政通信相对即时通信逐渐被淘汰。

3. 通信的分类

(1) 按传输媒质分类。通信方式可以分为有线通信和无线通信两种。有线通信是指传输媒质为导线、电缆、光缆、波导、纳米材料等形式的通信方式,其特点是媒质能看得见、摸得着(如明线通信、电缆通信、光缆通信、光纤光缆通信)。无线通信是指传输媒质看不见、摸不着(如电磁波)的一种通信方式(如微波通信、短波通信、移动通信、卫星通信、散射通信)。

(2) 按信道中传输的信号分类。通信方式可以分为模拟信号和数字信号两种。模拟信号有时也称连续信号,(这里的连续是指信号的某一参量可以连续变化),主要是指凡信号的某一参量(如连续波的振幅、频率、相位,脉冲波的振幅、宽度、位置,等等)可以取无限多个数值,且直接与消息相对应。数字信号也称离散信号,是指凡信号的某一参量只能取有限个数值,并且常常不直接与消息相对应。

(3) 按工作频段分类。通信方式可以分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信。

(4) 按调制方式分类。通信方式可以分为基带传输和频带传输两种。基带传输是指信号没有经过调制而直接送到信道中传输的通信方式。频带传输是指信号经过调制后再送到信道中传输,且接收端有相应解调措施的通信方式。

(5) 按通信双方的分工及数据传输方向分类。对于点对点之间的通信,按消息传送的方向,通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。单工通信是指消息只能单方向传输的一种通信工作方式,如广播、遥控、无线寻呼等,其信号(消息)只从广播发射台、遥控器和无线寻呼中心分别传到收音机、遥控对象和 BP 机上。半双工通信方式是指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收和发的工作方式。例如,对讲机、收发报机等都是采用半双工通信方式。全双工通信是指通信双方可同时进行消息双向传输的工作方式,如普通电话、手机等。在这种方式下,双方都可

同时收发消息。显然，全双工通信的信道必须是双向的。

(二) 移动通信

1. 移动通信的概念

移动通信是指移动体之间的通信，或移动体与固定体之间的通信，通信双方需有一方或两方处于运动中，包括陆、海、空移动通信。移动体可以是人或者汽车、火车、轮船、收音机等处在移动状态中的物体。移动通信采用的频段包括低频、中频、高频、甚高频和特高频。

移动通信系统由移动台、基台、移动交换局组成。若要同某移动台通信，移动交换局需通过各基台向全网发出呼叫，被叫台收到后发出应答信号，移动交换局收到应答后分配一个信道给该移动台，并从此话路信道中传送一信令使其振铃。

2. 移动通信的相关特点

(1) 移动性。移动性是指要保持物体在移动状态中的通信，因此它必须是无线通信，或无线通信与有线通信的结合。

(2) 电波传播条件复杂。因为移动体可能在各种环境中运动，所以电磁波在传播时会产生反射、折射、绕射、多普勒效应等现象，以及多径干扰、信号传播延迟和展宽等效应。

(3) 噪声和干扰严重。例如，城市环境中的汽车火花噪声、各种工业噪声，移动用户之间的互调干扰、邻道干扰、同频干扰等。

(4) 系统和网络结构复杂。移动通信系统是一个多用户通信系统和网络，必须使用户之间互不干扰，能协调一致地工作。另外，移动通信系统还应与市话网、卫星通信网、数据网等互联，因此整个网络结构是很复杂的。

3. 移动通信的分类

(1) 集群移动通信。集群移动通信，也称大区制移动通信。它的特点是只有一个基站，天线高度为几十米至百余米，覆盖半径为 30 km，发射机功率可高达 200 W，用户数为几十人至几百人，可以是车载台，也可以是手持台。用户可以与基站通信，也可通过基站与其他移动台及市话用户通信，基站与市站通过有线网连接。

(2) 蜂窝移动通信。蜂窝移动通信,也称小区制移动通信。它的特点是把整个大范围的服务区划分成许多小区,每个小区设置一个基站,负责本小区各个移动台的联络与控制,各个基站通过移动交换中心相互联系,并与市话局连接。利用超短波电波传播距离有限的特点,离开一定距离的小区可以重复使用频率,从而使频率资源可以充分利用。每个小区的用户数在 1 000 人以上,全部覆盖区最终的容量可达 100 万用户。

(3) 卫星移动通信。利用卫星转发信号也可实现移动通信,车载移动通信可采用赤道固定卫星,而手持终端采用中低轨道的多颗星座卫星则较为有利。

(4) 无绳电话移动通信。无绳电话是全双工无线电台与有线市话系统及逻辑控制电路的有机组合。它能在有效的场强空间内通过无线电波媒介,实现副机与座机之间的“无绳”联系,如图 1-1 所示。对于室内外慢速移动的手持终端的通信,可采用小功率、通信距离较近以及轻便的无绳电话机,它们可以经过通信点与市话用户进行单向或双向的通信。



图 1-1 无绳电话

(5) 模拟移动通信和数字移动通信。使用模拟识别信号的移动通信,称为模拟移动通信。为了解决容量增加问题,同时提高通信质量和增加服务功能,如今大多使用数字识别信号,即数字移动通信。数字移动通信在制式上有时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)和码分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)两种,前者包括欧洲的 GSM(全球移动通信系统, Global System for Mobile Communication)、北美的双模制式标准 IS-54 和日本的 JDC 标准。

二、移动通信的特点

(一) 移动通信必须利用无线电波进行信息传输

利用无线电波这种传播媒质能够允许通信中的用户在一定范围内自由活动,其位置不受束缚,不过无线电波的传播特性一般都很差。

1. 移动通信的运行环境复杂

移动通信的运行环境十分复杂，电波不仅会随着传播距离的增加而发生弥散和损耗，也会受到地形、地面物体的遮蔽而发生“阴影效应”。同时，信号经过多点反射，会从多条路径到达接收地点。这种多径信号的幅度、相位和到达时间都不同，它们相互叠加会产生电平衰落和时延扩展。

2. 移动通信的移动性

移动通信常常在快速移动中进行，这不但会引起多普勒频移，产生随机调频，而且会使电波传播特性产生快速的随机起伏，严重影响通信质量。因此，移动通信系统必须根据移动信道的特征，进行合理的设计。

(二) 移动通信是在复杂的干扰环境中运行的

除一些常见的外部干扰，如天电干扰、工业干扰和信道噪声外，系统本身和不同系统之间还会产生多种形式的干扰。在移动通信系统中，常常有多部用户电台在同一地区工作，基站还会有多部收发信机在同一地点工作，这些电台之间会产生干扰。由于移动通信网所采用的制式不同，产生的干扰也会有所不同（有的干扰在某一制式中容易产生，而在另一制式中不会发生）。简而言之，这些干扰有邻道干扰、互调干扰、共道干扰、多址干扰，以及远近效应等。因此，在移动通信系统中，如何减小这些有害干扰的影响至关重要。

(三) 移动通信需要有效地利用频谱资源

移动通信业务量的需求与日俱增，但移动通信可以利用的频谱资源十分有限。如何提高通信系统的通信容量，始终是移动通信发展中的焦点。为了解决这一矛盾，一方面要开辟和启用新的频段；另一方面要研究各种新技术和新措施，以压缩信号所占的频带宽度，提高频谱利用率。总之，移动通信无论是从模拟向数字过渡，还是向新一代发展，都离不开新技术的支持。另外，有限频谱的合理分配和严格管理是有效利用频谱资源的前提，这也是国际上各国频谱管理机构和组织的重要职责。

(四) 网络管理和控制必须有效

移动通信系统的网络结构多种多样，因此，网络管理和控制必须有效。根据通信地区的不同需要，移动通信网络可以组成带状（如铁路、公路沿线）、

面状（如覆盖一个城市或地区）或立体状（如地面通信设施与中、低轨道卫星通信网络的综合系统）等。移动通信网络可以单网运行，也可以多网并行并实现互联互通。

总之，移动通信网络必须具备很强的管理和控制功能。例如，用户的登记和定位，通信（呼叫）链路的建立和拆除，信道的分配和管理，通信的计费、鉴权、安全和保密管理，以及用户过境切换和漫游的控制等。

（五）移动通信设备必须适合在移动环境中使用

移动通信设备（主要是移动台）必须适合在移动环境中使用。手机的主要特点是体积小、重量轻、省电、操作简单和携带方便。车载台和机载台除要求操作简单和维修方便外，还应保证在振动、冲击、高低温变化等恶劣环境中可以正常工作。

三、通信产业的发展

（一）古代通信的产生

同物质和能量一样，信息自古以来就是人类赖以生存和发展的基础资源。通信的实质是使信息能够有效传递。在远古时代，语言文字没有被发明之前，通信的内容就是符号，介质就是如石子一样的东西，而在古代，文字、烽火及驿站等被作为主要的沟通和通信方式。古代战争，烽火就是重要的沟通和通信工具，如边境告急，寻求朝廷派兵增援，或国都遇袭，征诸侯兵马；随后书信成为名副其实的沟通工具，邮政业务成为延续几个世纪的通信主要方式。

（二）电报与电话时代

现代通信技术的产生和社会经济的实际需要是通信产业发展的根本原因。19世纪初期，信息传递仍然使用邮政传输文本或者口头信息。随着欧洲航海时代的来临，人类社会经济活动的空间得到了极大的拓展。蒸汽机的改良与广泛使用，标志着第一次工业革命及大机器工业时代的到来，人类活动能力得到了极大的提升。

1837年，美国人莫尔斯发明了电报。电报的发明具有划时代的意义，

它使人们实现了使用电磁信号远距离传送信息的理想。

19世纪被称为电报的世纪，电报在全球得到了广泛的应用，电报的产生促使了现代通信产业的萌芽。

1876年，波士顿大学语音学教授贝尔发明了电话装置。电话的发明使人们不必经过专业的编码和译码从而直接传递自己的声音，打破了电报只能传递电码的局限性。电话发明后，用户数量迅速地增长。

从19世纪末到20世纪80年代，电话网在全球范围内迅速扩展开来，用户数量呈几何式增长，电话普及率不断提高。到20世纪80年代，全球电话用户总数就已超过10亿人。电话的发明大大地加快了信息的传递速度，扩大了信息的传递范围，使人类的通信方式相较传统的通信技术手段产生了质的飞跃。

（三）现代通信时代

20世纪80年代，全世界引发了移动通信建设和消费浪潮，移动电话正式投入商用。进入20世纪90年代，移动电话逐渐颠覆了以固定电话业务为主的模式，其业务发展十分迅速。据统计，从1996年起，全球每年新增的移动电话用户数量已超过新增的固定电话用户数量。从1995年到1998年，全球的移动电话用户数量增长了13倍。

如今，随着电信技术、互联网技术等信息技术的发展，电信业务从固定电话和移动电话等传统业务领域拓展到了电信增值业务、互联网宽带接入、融合业务、移动互联网等领域，电信业务的需求也随着人们的需求进一步拓深，电信业务将深刻地改变人们的生活方式。

第二节 移动通信的发展历程

一、大区制移动通信

真正的移动通信技术的发展是从20世纪20年代开始的。1928年，美



国普渡大学的学生发明了工作于 2 MHz 的超外差式无线电接收机。这套系统很快在底特律警察局投入使用，成为世界上第一个可以有效工作的移动通信系统。

20 世纪 30 年代初，世界上第一部调幅制双向移动通信系统在美国新泽西警察局投入使用；20 世纪 30 年代末，第一部调频制移动通信系统产生，实验表明调频制比调幅制移动通信系统更加有效。

1939 年，第二次世界大战爆发，军事上的需求促使相关技术的发展得到快速进步，从而极大地推动了移动通信的发展。1946 年，贝尔公司在美国的圣路易斯建立了世界上第一个公用汽车电话网，当时采用了 3 个间隔为 120 kHz 的频道，并使用单工方式通信。

20 世纪 50 年代，北美和欧洲部分国家相继成功研制了公用移动电话系统，在技术上实现了移动电话系统与公众电话网络的互通，并得到了广泛的使用。当时基站的工作方式都是单基站方式，即每个基站独立工作，这种模式称为大区制移动通信。

大区制移动通信要求基站天线比较高，发射功率比较大，使得位于小区边缘的移动终端可以接收到规定强度的信号。但是，由于大区制系统中各个基站间都是独立工作的，因此如果手机在移动过程中从一个基站的覆盖范围到了另一个基站的覆盖范围，用户就必须中断通话，然后重新拨号，使用起来非常不方便。另外，基站的天线高度一般为几十米甚至百余米，其覆盖半径约为 30 km，而其发射机功率则高达 200 W，网络可支持的用户数仅为几十至几百人，随着用户数量的增加，大区制系统所能提供的容量很快达到饱和，这成为一个非常棘手的问题。目前，除了工矿区及专业部门的个别小型专用网以外，已经很少采用大区制移动通信。

二、小区制——蜂窝移动通信时代

为了解决大区制所带来的困扰，科学家们一直在努力地探索。从 20 世纪 70 年代中后期开始，由于电子技术的快速发展和革新，各方面条件趋于成熟，小区制——蜂窝移动通信系统应运而生，如图 1-2 所示。

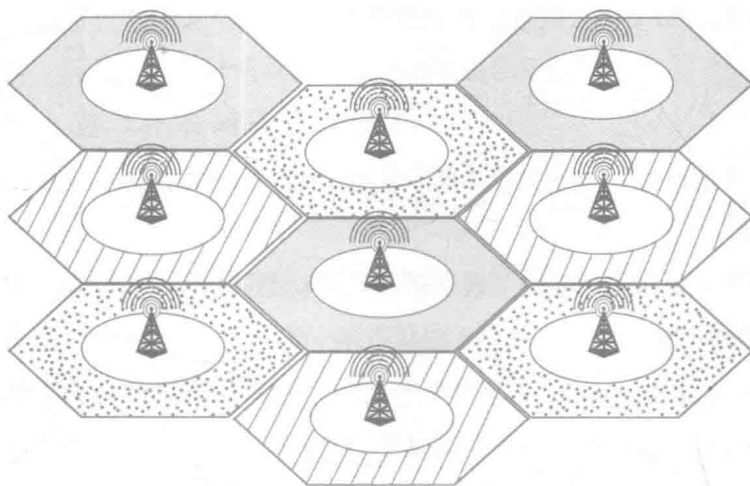


图 1-2 蜂窝移动通信系统

蜂窝移动通信最早是由美国贝尔实验室在 20 世纪 70 年代提出的。1978 年年底，美国贝尔实验室成功地研制出先进移动电话系统（AMPS）。AMPS 制蜂窝移动通信系统大大地提高了系统容量，并于 1983 年在芝加哥投入商用，1987 年 11 月 18 日，在第六届全国运动会前夕，我国第一个全向入网通信系统（TACS）模拟蜂窝移动电话系统在广东省建成并投入商用，揭开了我国移动电话的先河。

蜂窝移动通信的特点是把整个大范围的服务区划分为许多个小区，每个小区设立一个基站，负责本小区各个移动台的联络和控制。各个基站通过移动交换中心相互联系，并与市话局连接。利用超短波传播距离有限的特点，使用不同的频率，可以有效避免同频干扰，离开一定距离的小区又可以重复使用频率，使频率资源可以充分利用。

另外，在区域内可以根据用户的多少确定小区的大小。随着用户数量的增加，可以普遍应用于用户数、业务量较大的公共移动通信网。但是，在这种结构中，如果移动用户在通信过程中，从一个小区转入另一个小区的概率增加，那么移动台需要经常更换工作频道。并且基站数目的增加，产生了控制交换复杂等问题，同时也增加了建网成本。为了克服小区分裂带来的各种问题，移动通信也采用了若干层不同大小的蜂窝重叠覆盖的多