新工科暨卓越工程师教育培养计划电子信息类专业系列教材

丛书顾问/ 郝　跃

5G TONGXIN DAOLUN

5G通信导论

主　编/尹学锋　颜　卉



华中科技大学出版社
http://www.hustp.com

新工科暨卓越工程师教育培养计划电子信息类专业系列教材

5G 通信导论

主　编　尹学锋　颜　卉

华中科技大学出版社

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书以第五代移动通信(5G)作为切入点,一方面回顾无线通信在理论、技术、器件、系统等方面的发展史,描述第一代至第五代移动通信系统的工作原理、关键技术与性能指标上的异同;另一方面,针对5G对智能化社会和生活的多方面影响,分析了5G技术革新的"蝴蝶效应"以及对社会政治和经济发展、国际关系演变的"杠杆功能"。本书帮助读者找寻5G与自身专业、兴趣爱好和未来职业规划的结合点,激发其对5G智能网联与各行各业的融合模式创新与实际落地的深入思考。

本书涵盖内容广、案例分析丰富,结合本书配套的线上慕课、网上录播视频以及课件共享资源,可作为介绍有关无线通信、5G通识基础的导论课教材,也可作为电子信息、电气工程、计算机、机械能源、经济管理、传媒艺术、政治经济类等专业的本科生和研究生以及相关领域科技工作者的扩展阅读参考书。

图书在版编目(CIP)数据

5G通信导论/尹学锋,颜卉主编. —武汉:华中科技大学出版社,2020.9
ISBN 978-7-5680-6540-5

Ⅰ.①5… Ⅱ.①尹… ②颜… 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(2020)第168081号

华中科技大学出版社

5G通信导论

5G Tongxin Daolun

尹学锋 颜 卉 主编

策划编辑:祖 鹏
责任编辑:王红梅 祖 鹏
封面设计:秦 茹
责任校对:刘 竣
责任监印:徐 露
出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话:(027)81321913
武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编:430223
录 排:武汉市洪山区佳年华文印部
印 刷:武汉市籍缘印刷厂
开 本:787mm×1092mm 1/16
印 张:10.75
字 数:253千字
版 次:2020年9月第1版第1次印刷
定 价:28.80元

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

编　委　会

顾问　郝　跃(西安电子科技大学)

编委　(按姓氏笔画排名)

万永菁(华东理工大学)　　王志军(北京大学)
方　娟(北京工业大学)　　尹宏鹏(重庆大学)
尹学锋(同济大学)　　刘　爽(电子科技大学)
刘　强(天津大学)　　刘有耀(西安邮电大学)
孙闽红(杭州电子科技大学)　杨晓非(华中科技大学)
吴怀宇(武汉科技大学)　　张永辉(海南大学)
张朝柱(哈尔滨工程大学)　　金湘亮(湖南师范大学)
赵军辉(华东交通大学)　　胡立坤(广西大学)
柳　宁(暨南大学)　　姜胜林(华中科技大学)
凌　翔(电子科技大学)　　唐朝京(国防科技大学)
童美松(同济大学)　　曾以成(湘潭大学)
曾庆山(郑州大学)　　雷鑑铭(华中科技大学)

华中科技大学出版社

序

从麦克斯韦预言电磁波的存在，到无线通信在19世纪末的诞生，仅用了二十几年的时间。人类对无线电在通信、雷达、遥感等诸多方面的潜在应用，可以用应接不暇来形容。无线电产品成为每个人生活中不可或缺的必备物品，完全得益于20世纪50年代集成电路的发明。随着20世纪70年代第一代个人移动通信系统的诞生，平均每10年就会有一次大规模的移动通信技术升级，到如今已经进入了5G的时代。2019年，是无可争议的5G商用元年。5G网络以几万、几十万台基站的发展规模迅速覆盖了世界上用户最密集、应用最深入的区域，围绕5G的技术应用成为各个国家竞争的热点，随着5G基带和射频芯片的不断研发革新，终于在2019年上半年迎来了5G手机的面世——移动运营商的柜台里开始摆上5G手机，各种和5G相关的应用也不断挑战着我们传统的生活、工作、娱乐方式。5G不仅改变了个人的通信方式，也给购物、消费、出行、教育、娱乐等几乎所有方面，带来了前所未有的改变。人们开始对5G满怀期待，憧憬5G时代的“不期而遇”，希望从5G技术革新中领略出乎意料的惊喜。

除了技术自身的革新之外，5G也像一个杠杆，撬动了国际政治经济的格局。传统的技术创新聚集地，在5G浪潮到来之际，开始在全球转移。一个不争的事实，是国际上形成了围绕5G的技术研发、制造业、运营商的两大阵营，东方、西方之间的5G竞争从标准到核心专利，再到市场的划分与争夺，已经呈现白热化迹象。5G的竞争既像是2008年经济危机以来的一次蓄势已久的爆发，又像是各种出乎意料的弯道超车。在这场令人震撼的角逐中，传统的强势通信企业不断亮出他们的杀手锏，舆论也乐此不疲地尾随，各种对5G的预测描绘出一幅令人向往的未来世界。在这样一个节奏里，人们你追我赶，涌进了5G的大门……

5G已经脱离了技术范畴的定义，她更像是一个新业态，代表了一个完整生态，她的出现打破了原有的政治经济的平衡。某些在5G商用竞争中处于劣势的国家，开始仰仗商业、政治等手段，希求控制和干扰5G的发展，不惜动用国家机器对某一个企业进行打压，甚至以发动贸易战争的方式想把对手连根拔起，5G的发展也因此充满坎坷和未知。但这样的情形并非首次出现，从20世纪50年代以来，多少次国家间技术革新所引发的政治危机，已经为5G发展的荆棘之路做了标注。在激流中，强者会愈发强大，远见、定力和博弈中的智慧，更能决定5G发展的命运。不论有多少艰难险阻，5G发展的步伐也只会越来越快。

本书以5G作为切入点，详细回顾了无线通信在理论、技术、器件、系统等方面的发展历史，通过对传统的模拟通信与第二、三、四、五代数字无线通信系统的工作原理，关键技术的差异和性能限制因素的分析，帮读者了解这些技术对产业、社会、生活带来的改变与影响。此外，本书尝试跳出技术层面，从5G在智能化方面对社会、生活的多方面影响，5G技术在社会、政治、经济方面的延伸，来了解5G的“蝴蝶效应”和“杠杆功

能”，分析 5G 对未来产业发展的多方面、多层次影响。与此同时，本书也尝试着帮助读者找寻 5G 与自身专业、兴趣爱好、未来职业规划的结合点，对如何利用 5G 技术对自身专业、兴趣爱好进行模式和技术等不同层面的创新，进行深入思考，建立可行方案。

本书的章节安排如下。

第 1 章，5G 的基本概念和应用。本章简要描述了 1G 到 5G 的不同，5G 的定义，5G 已经带来和即将带来的改变，包括 5G 带来的产业生态的革新、商业模式的创新。此外，介绍了 5G 依赖的关键技术，分析了业内对 5G 发展的不同观点，以及不同机构对 5G 在未来 5 至 10 年的发展预测。

第 2 章，无线通信的历史。本章旨在回溯与无线通信相关的技术史。从理论演进的角度，介绍了几个世纪以来电磁场与电磁波的理论创造和发展的历史；从具体设备的角度，介绍了无线器件与通信设备的研发史，包括作为移动通信的典型标志——手机的发展简史、互联网乃至移动互联网的发展简史、无线通信产业在近几十年的发展历史与国际政治经济的关联；此外，对 5G 时代的前瞻性产业也进行了预测和展望。

第 3 章，5G 无线通信标准。本章首先阐述了标准对于无线网络内部和网络之间互联互通的重要性，概述了一个简要的无线通信技术协议，之后对 5G 标准包括空口技术和核心网的标准做了阐述；然后，讨论了 5G 与 WiFi 标准之间的融合，5G 标准中的编码标准的产生，5G 非独立组网和独立组网的演进流程。

第 4 章，5G 芯片。本章首先介绍了芯片的基本概念，然后针对 5G 终端、5G 基带、5G 手机的芯片研发以及制造现状进行了详细的介绍；此外，根据当前的情况，对我国在 5G 芯片领域的竞争力做了简要分析。

第 5 章，5G 专利。5G 的技术创新伴随着大量知识产权的产生。本章首先给出了 5G 相关的专利类别划分，然后对 5G 领域的专利分布、5G 标准与专利之间的关系，以及 5G 核心专利的分布进行了描述；然后介绍了 5G 设备制造商如何确定他们的专利盈利策略，竞争者之间围绕专利展开的法律诉讼；此外，对各公司的 5G 专利布局和 5G 未来的改革方向进行了介绍。

第 6 章，5G 移动网络与深度学习。本章首先介绍了深度学习的背景知识、深度学习入门，然后就如何在移动网络中实现深度学习进行描述，并且介绍深度学习的多种方法，讨论如何将深度学习方法用于移动和无线网络业务的实施，如何支撑移动网络中的人工智能；在本章结束时，对未来深度学习和移动网络的融合方面进行了展望。

第 7 章，5G 赋能产业。本章围绕 5G 如何“落地”，如何和其他产业进行融合，重点描述了九个领域的 5G 应用，其中包括商业楼宇、能源、医疗、交通、视频、虚拟现实、无人机、IoT 以及人工智能，讨论了 5G 和这些产业融合以后有可能产生的新业态，也简要描述了现阶段的发展情况和未来需要的改革。

第 8 章，5G 与国际政治。5G 除了带来技术革新，还会深刻地影响国际政治的格局。这一章里，我们介绍了历史上曾经发生的争夺先进技术制高点的多个事件，包括 20 世纪 80 年代美国针对日本公司进行的一系列行动、日立和三菱的间谍案、制裁东芝事件，并对上述事件所造成的影响进行分析，由此对现阶段我们应该采取的对策给予建议。

第 9 章，6G 展望。5G 已来，6G 也不会太远。本章介绍了 5G 未能满足将来智能网联需求的具体情况，分析了 5G 的传输、覆盖、时延指标在匹配飞速增长的算力与智

华中科技大学出版社

能驱动之间存在的技术差距，介绍了5G以后的第六代移动通信(6G)可能采用的关键技术和服务的典型场景，概述了国内外启动6G研发的情况，最后对6G研发过程进行了展望。

本书可作为大学本科生有关无线通信、5G的通识课教材。对于具有一定通信技术背景知识的学生而言，本书通过大量的5G相关事件，帮助他们了解技术对社会的影响；对于没有通信背景的同学而言，本书提供了一个最为典型的创新案例，赋予生涩的技术以魅力，从多个并行的线索中勾勒出必然和偶然之间的往复迭代。本书也可作为一本5G技术发展史，对近年发生的与5G有关的事件作出梳理，让读者更加系统地了解5G的前世今生。

编　者

2020年7月

华中科技大学出版社

目录

1 5G 的基本概念和应用 …… (1)
1.1 1G 到 5G 的不同 …… (1)
1.2 5G 基本性能 …… (3)
1.3 5G 能为我们带来哪些改变？ …… (5)
1.4 5G 依赖的关键技术 …… (8)
1.5 专家解读 5G 之路 …… (10)
1.6 悲观论 …… (15)
1.7 5G 的发展预测 …… (17)
1.8 小结 …… (19)
1.9 习题 …… (19)
2 无线通信的历史 …… (21)
2.1 电磁理论的发展历史 …… (21)
2.2 无线器件与设备的发展史 …… (26)
2.3 移动互联网的发展史 …… (34)
2.4 无线通信产业的历史与 5G 前瞻 …… (39)
2.5 小结 …… (45)
2.6 习题 …… (45)
3 5G 无线通信标准 …… (47)
3.1 无线通信技术协议 …… (47)
3.2 解读 5G 标准 …… (47)
3.3 5G 与 WiFi 的融合 …… (49)
3.4 4G 与 5G 的融合与过渡 …… (51)
3.5 5G 编码标准 …… (58)
3.6 小结 …… (60)
3.7 习题 …… (61)
4 5G 芯片 …… (63)
4.1 芯片知识入门 …… (63)
4.2 5G 终端基带芯片 …… (66)
4.3 5G 基站芯片 …… (70)
4.4 5G 手机芯片 …… (74)
4.5 国内外 5G 芯片差距 …… (77)
4.6 小结 …… (80)

华中科技大学出版社

4.7 习题 …… (80)
5 5G 专利 …… (82)
5.1 专利的类别:核心专利的覆盖范围 …… (82)
5.2 专利的分布 …… (83)
5.3 专利的使用策略 …… (85)
5.4 专利之战 …… (87)
5.5 各公司的 5G 专利布局 …… (88)
5.6 未来的改革方向 …… (89)
5.7 小结 …… (90)
5.8 习题 …… (90)
6 5G 移动网络与深度学习 …… (91)
6.1 背景 …… (91)
6.2 深度学习入门 …… (92)
6.3 在移动网络中实现深度学习 …… (95)
6.4 深度学习方法 …… (100)
6.5 深度学习驱动的移动和无线网络 …… (104)
6.6 未来研究视角 …… (112)
6.7 小结 …… (115)
6.8 习题 …… (115)
7 5G 赋能产业 …… (117)
7.1 “5G+商业楼宇” …… (117)
7.2 “5G+能源” …… (118)
7.3 “5G+医疗” …… (119)
7.4 “5G+交通” …… (119)
7.5 “5G+视频” …… (123)
7.6 “5G VR+” …… (127)
7.7 “5G+无人机” …… (129)
7.8 “5G+IoT” …… (130)
7.9 “5G+人工智能” …… (130)
7.10 小结 …… (131)
7.11 习题 …… (131)
8 5G 与国际政治 …… (133)
8.1 历史回顾:日立、三菱“间谍”事件 …… (133)
8.2 历史回顾:东芝事件 …… (135)
8.3 对策与建议 …… (138)
8.4 小结 …… (139)
8.5 习题 …… (139)
9 6G 展望 …… (140)
9.1 5G 存在的问题以及研究 6G 的必要性 …… (140)
9.2 启动 6G 研发 …… (141)

华中科技大学出版社

9.3 太赫兹技术现状与展望 …… (142)
9.4 6G 移动通信技术展望 …… (144)
9.5 小结 …… (146)
9.6 习题 …… (146)
参考文献 …… (148)

华中科技大学出版社

1

5G的基本概念和应用

第五代移动通信技术，简称5G或者5G技术，是最新一代蜂窝移动通信技术。那么，5G究竟是什么？它到底能给我们的工作、生活带来什么样的影响呢？在本章中，将会从1G到5G，一一介绍每个通信时代的概念及特点，详细介绍5G需要的技术、给人类生活带来的改变、专家对5G的解读以及对未来的发展预测，使读者全面了解5G的基本概念和应用。

华中科技大学出版社

1.1 1G到5G的不同

2019年，5G已经逐步进入了实际商用阶段。5G将对我们的生产、生活产生巨大的影响，从出行到能源，从制造到家居，方方面面都将被重塑。互联网、物联网以及5G技术的发展，催生“大连接时代”的快速到来。在介绍5G之前，我们先来了解从1G到5G发生了怎样的改变。

1.1.1 1G、2G、3G、4G、5G的定义

1G指的是第一代移动通信技术。1G使用模拟信号，数据传输速度达到2.3 Kbps。那时的移动通信设备（如大哥大）只能打电话。

2G（包含了GSM、GPRS、IS-95等标准）指的是第二代移动通信技术。2G采用数字化通信，数据传输速率介于56～114 Kbps之间。2G实现了语音通信数字化，功能机有了小屏幕，可以发短信了。

3G（包含了WCDMA、CDMA 2000、TD-SCDMA等国际标准）指的是第三代移动通信技术。3G可提供384 Kbps的数据传输速率，因此可以轻松浏览网站和流式传输音乐。

4G指的是第四代移动通信技术，被称为长期演进（Long Term Evolution，LTE）。4G提供的移动互联网，与家中或办公室里的WiFi一样，稳定快速。

5G指的是第五代移动通信技术，是4G系统后的延伸。美国时间2018年6月13日，圣地亚哥3GPP会议定下第一个5G国际标准。相比4G，5G网络主要有三大应用场景包括增强型移动宽带（Enhanced Mobile BroadBand，eMBB）、海量机器类通信（Massive Machine Type Communication，mMTC）和超可靠、低延时通信（Ultra-reliable and Low Latency Communication，URLLC）。

1.1.2　1G 经典:让移动通信成为可能

1973 年 4 月 3 日,美国人马丁·库帕站在纽约街头,手拿一块“砖头”,用其拨通了贝尔实验室的固定电话,路人看到后,以为马丁对着砖头说话,都认为他精神不正常,但这就是人类首次得以摆脱位置的束缚、做到移动通信的第一个经典瞬间。不久之后,大哥大流行于世界,丘吉尔举着大哥大指挥军队的照片成为永恒的经典。

但是,1G 的系统容量极其受限,手机是绝对的奢侈品,甚至是身份的象征;通话费用也是高得惊人;手机本身的待机时间也很短,需要配备几块电池。

1.1.3　2G 标准:手机在全球得到大规模普及

GSM 数字网络具有诸多优点,不仅有较强的抗干扰性和保密性、清晰的音质、稳定的通话,还具备大容量、能够提高频率资源利用率、接口开放、功能强大等优点。最早的文字简讯从此开始,手机也可以上网了。第一款支持 wap 的 GSM 手机是诺基亚 7110,而当时 GSM 的网速仅有 9.6KB/s。手机大规模集成芯片和 GSM 标准的成熟,使 2G 真正引发了通信革命。

1.1.4　3G 革命:网络摆脱了电话线的束缚

2009 年 12 月,在美国无线通信展览会上,爱立信宣布:包括音乐、视频、电子文本、网页以及线上游戏等产生的全球移动数据流量,超过了语音所产生的流量。至此,又诞生了一个通信领域的里程碑——标志着以 3G 技术为基础的移动互联网时代真真切切地到来。此后出现的 3G 通信技术、智能手机以及移动客户端共同颠覆了移动通信的内涵,手机也不再是单纯的通话、短信或邮件工具,而成了一部综合性的智能终端。乔布斯曾说,“苹果重新发明了手机。”但其实,若没有 3G 技术,就不会有这些更便宜、更大量、功能性更强的流量。而 iPhone 除基本的通信功能之外,也并不会具有更大的吸引力。

总之,通信在 3G 时代之前最看重的就是“移动”,比如,我们能够在走路的同时聊天;而在 3G 时代内,我们需要忍受低速网络,离开 WiFi 热点,不能随心所欲地下载电影,NBA 比赛只有文字直播,甚至点开微信中的一张图片需要二十分钟,而所有这些通信过程中的不完美,势必会成为下一代通信网络研究的重中之重。

1.1.5　4G 升级:更高、更快

如前所述,1G 到 3G 完成了从固定到移动、从单纯的语音通话到移动互联的革命,但这个过程仍没能解决网速缓慢、客户体验差的问题,而这也应该成为 4G 时代研究的重点。按照国际电信联盟的定义,4G 的最大传输速率能达到 100 Mbit/s,是一种提供高速移动宽带网络的服务。这也表明,4G 时代的标志性特征是“高速”,它比之前的拨号上网速度快了 2000 倍,即使存在同时上网人数的限制,4G 时代的网速仍然能比 WCDMA 或者 CDMA2000 等 3G 技术快 10 倍。4G 的上传速度能够达到 20 Mbps,能够传输高质量视频图像。

从 4G 定义来看,高速服务是其主要特征,不同于 iPhone 3GS 变革了固定 PC 机,4G 要比上一代通信技术更加优化,是锦上添花式的升级。尽管有些消费者希望获得更

西电科技大学出版社

高速的移动网络，但是由于运营初期存在流量费高昂、4G 热点匮乏（当然随着各大运营商的网络建设，这种情况在后期得到了很大的改善）等困难，人们只能退而求其次。

1.1.6　5G：改变社会

5G 网络和 4G 网络的区别不仅仅是 5G 速度更快，几秒钟可以下完一部电影，相比 4G 网络，5G 网络还具有更强的网络容载能力，它还是万物互联落地的基础，意味着机器将更加智能化。有了 5G 网络的铺垫，物联网、人工智能、虚拟现实、智慧城市以及超清视频等一系列技术应用，都会迎来更广阔的应用空间。

1.2　5G 基本性能

1.2.1　5G 的速度有多快？

5G 提供高达 10 Gbps 的峰值数据下载速率。4G 的峰值速率大概为 100 Mbps，5G 的速度提升了 100 倍。理想情况下，用户能在几秒内下载 1G 大小的高清视频。4K 视频需要最低 25 Mbps 的下载速度，4G 达不到这个要求。所以，在 5G 环境下，4K 视频直播成为可能。另外，虚拟现实（Virtual Reality，VR）/增强现实（Augmented Reality，AR）对带宽的需求是巨大的，5G 使 VR 等虚拟化实现成为可能。如果说用 2G 可以看小说，用 3G 可以看图片，用 4G 可以看视频，那么用 5G 则是可以在 VR 中进行互动。

1.2.2　5G 的容量有多大？

5G 系统即将使用高频段毫米波波段，例如 28 GHz、39 GHz，甚至 72 GHz 等。采用高频电磁波进行信号传输时，虽然传输速率能够随着带宽扩大而显著提升，但高频电磁信号穿过物体时将经历较大的损耗，这是毫米波通信的典型缺点。依照香农定理，随着传输距离的增加，信号功率迅速衰落，其传输速率会比 4G 的低频段下降得更快。为了保证高效稳定的传输速率，5G 需要建设更多基站，以便提供稳定的信号传输效果。基于 5G 技术的移动通信网引入了体积小、耗能低的微基站，这种基站可以灵活地安装、部署在城市和乡村的任何位置，如公路两侧路灯、交通信号灯、大型商场内部、普通住宅旁等。每个基站之间可以相互接收信号，并发送数据给邻近该基站的用户。5G 系统的信号接收功率均匀，网络承载量大，形成泛在的网络覆盖，解决了高频段长距离传输效果差的问题，这也让物联网成为一种可能。

在 5G 网络中，除了智能手机、PC 机等常见 3C 产品，还可以纳入更多的终端设备，如可以通过网络控制的智能家居产品，如智能插座、智能空调、智能冰箱以及智能穿戴设备等。而在物联网领域中，对于不同的应用场景，网络的需求不尽相同；一些终端设备需要大量实时数据快速处理反馈，而另一些终端设备只需要少量数据或几个 bit 的数据传输；它对传输的速度反应要求都不高，甚至可能一两个月才更新少量的数据，比如水表、电表类的使用量信息显示。所以在 5G 网络中，需要能自动识别出设备终端对网络的需求，分别使用不同的网络带宽。当少量数据传输时，5G 智能识别使用耗能较小的窄带网络对数据进行传输，从而有效减少能源的消耗和使用，保证终端设备的低耗长时运作的实用性，实现真正的万物互联。事实上，有资料表明，5G 通信网络在某些场

华中科技大学出版社

景中需要能够支持每平方公里 600 万个设备的接入并同时上网的工作状况，如此巨大的容量是传统网络难以支撑的。

1.2.3　5G 的延时有多少?

相比 4G，5G 在现有的技术架构上进行了很大的优化和调整。为降低延时，5G 从四个方面同时着手进行，分别为接入网、承载网、核心网、骨干网。

5G 一方面大幅度降低空口传输延时，另一方面尽可能减少转发节点，以缩短节点之间的距离。引入网络切片技术，把物理上的网络切片，划分为 N 张逻辑网络以适应不同应用场景。将核心网控制功能下沉，部署到接入网边缘，趋近用户，缩减传输距离，减少延时。

4G 网络应用服务器集中于中心机房，离终端较远，数据传输中间需经过多个传输节点。5G 网络通过边缘计算技术深度融合了接入网与互联网业务，将具有计算、处理和存储功能的云计算设备部署在接入网边缘，构建移动便捷云，提供信息技术服务环境和云计算能力。可以减少数据传输过程中的转发和处理时间，降低端到端的延时。

低延时让无人驾驶成为可能。一辆汽车在 60 km/h 的速度下运行，50 ms 的刹车紧急制动的距离为 1 m，10 ms 的为 17 cm，1 ms 的为 17 mm。在 4G 网络中，延时大概为 50 ms，制动距离大概为 1 m，这 1 m 也许就能成为生死间的距离。而 5G 网络大大降低了这一风险，其低至 1 ms 的延时，让自动驾驶的行驶安全更有保障。大家都知道重庆万州公交坠江事件，如果当时公交车使用的是 5G 技术，搭载智能监控和智能系统进行管理，当发现车辆偏离正常轨迹，要冲出桥堤的时候，紧急制动系统通过低延时特性，在 1 ms 中刹住，可能就不会发生悲剧了。

4G 改变生活，而 5G 将会改变整个社会。5G 不仅从 VR/AR 等虚拟物品、虚拟人物、增强情景信息等方式带给人们全新的媒体体验，它还将进入物联网时代，并渗透到各行各业，如车联网、智能制造、全球物流跟踪系统、智能农业、市政抄表等。当 5G 到来之时，亦是生活方式颠覆之际，人类将走向数字化、信息化的智能世界。

1.2.4　最早的 5G 应用

2018 年 5G 已来！2018 年底，中央广播电视总台和中国三大移动通信运营商及华为技术有限公司（以下简称华为）共同签署了《合作建设 5G 新媒体平台框架协议》。2019 年 2 月通过 5G 网络直播央视春节联欢晚会深圳、长春分会场超高清视频，正是 5G 新媒体平台的重要试点应用。

2019 年 1 月，华为在北京央视大楼春晚一号演播厅，深圳、长春等分会场，部署了 5G 室内数字系统以及室外基站，支持多路超高清视频回传。在深圳分会场，由中国移动采用华为提供的端到端 5G 设备，包括 64T64R 的基站设备 AAU、5G 核心网，以及 5G 商用终端（CPE），并通过该终端设备和央视直播摄像机完成了对接，经过现场测试，5G 网络能够稳定地为直播设备提供 80Mbps 的无线上传功能，完全满足春晚超高清视频直播的要求。在长春分会场，由中国联通和华为公司联合实现了我国首次极寒环境下的 5G 网络 4K-VR 实时制作传输测试。即使在超密人群、极寒环境（零下 20 ℃）下，5G 网络超高清传输依旧稳定顺畅，这体现了华为 5G 设备在极端环境下也能保证稳定运行的优异品质。

华中科技大学出版社

1.3　5G 能为我们带来哪些改变？

截至目前，我国 4G 用户数量已达 7.7 亿，这一数字随着提速降费政策的推进还在持续增长中，移动网络传输速率也由之前 3G 的 4.3 Mbps 提升至 4G 的 11.9 Mbps。那么，既然 4G 市场前景大好，为何还要铺天盖地地宣传 5G 呢？从手机屏幕分辨率来看，除了索尼的 4K，其他品牌都徘徊在 2K 或 1080P 之间，从这个角度来说，4G 现有的速度完全可以支撑手机的正常使用，那么高速的 5G 真的有必要吗？

实际上，5G 具有更快的速度已经家喻户晓，但相比 2G/3G/4G 更多聚焦于技术而言，5G 则志在建立一个“端到端”的系统构架和生态系统，打造一个全移动、全连接的社会。此外，5G 还将实现电信的软硬件分离，引入 IT 数据中心所采用的云化和虚拟化的概念。基于云和虚拟化的生态系统和商业模式将通过 5G 技术得以满足和支持。

在 5G 时代，除了几秒钟下载完一步高清电影之外，还将在如下方面为人类的生活带来深刻变化。

1.3.1　4K 等超高清网络直播将成为主流

4K，K 代表 1024，几 K 表示的是屏幕的水平方向上有接近几个 1024 的像素。一般的 4K 屏幕有 4096×2160，也有 3656×2664、3840×2160，又称超高清（UHD），简单地说，就是画质更清晰、自然、逼真，用户可享受到影院级的视听体验，真正地可以做到毫发毕现。更清晰的画质、更细腻的画面细节意味着更多的数据信息。在巴西世界杯上 BBC 做 4K 直播，每秒 60 帧的视频，大概需要 36M 的带宽。30 多兆的带宽目前在国内绝大多数地区还无法达到。而 4G 的网络带宽仅有 10 Mbps，这是无法满足 4K 视频网络直播需求的。

华中科技大学出版社

5G 的出现让 4K 视频直播触手可及，更大的带宽让 4K 超高清视频数据在传输过程中畅行无阻。2018 年 10 月央视已经推出 4K 超高清频道，2019 年的春节联欢晚会也实现了 4K 的 VR 直播，利用手机或者移动终端享受超清的视频观看体验是视频行业的一大改变。

1.3.2　视频直播的卡顿或将成为过去

现在的 4G 网络在稳定性方面还有所欠缺，经常遇到下载速率忽快忽慢的情况。5G 网络采用了“毫米波＋小基站”的传输方式，小基站体积小、布置简便（也符合 5G 极简网络的主要理念），在每 250 米左右构建一个小基站，如此排列下来，每个城市能够部署数千个小基站，由此形成密集网络，每个小基站之间能互相接受信号并向任何位置的用户发送数据。基站之间信号接收功率均匀、系统承载量大，很大程度上保障了 5G 网络的稳定性，传统网络中的数据传输不稳定、视频直播卡顿的情况将成为过去。

1.3.3　AR /VR 技术将焕发“第二春”

在使用 VR 看流媒体视频时，当延时超过 20 ms，用户就会出现不适感，最好的情况是延时不超过 7 ms。因此以目前的 4G 技术无法为 VR 流媒体提供一个理想的硬件环境，而 5G 技术可以同步视频和音频，为用户提供更好的使用体验。5G 技术将大大

促进 AR/VR 应用程序开发，5G 的出现将助力 AR/VR 利用虚拟物品、虚拟人物、增强性情境信息等方式，给人们带来连接媒体的全新方式。与 VR 功能相结合的高响应触觉装备也将带来全新的人与虚拟世界的接口模式。

1.3.4　视频互动的延时将大大缩短

延时即请求和响应的时间差。相较于 4G 网络 50 ms 的延时，5G 网络仅为 1 ms 的延时大大缩短了网络的响应时间，5G 时代，将大大降低直播的延时，人们可以随时享受即点即播的快感。

1.3.5　以 5G 赋能的人工智能(AI)应用大量出现

5G 作为一种基础的信息传递平台，应用于生活、工作、娱乐、社会的各个方面。5G 和 AI 的结合将给整个网络视听行业带来巨大的变化，给我们提供很多的便捷和智能。智能的应用体现在围绕语音的语音智能，围绕媒体的媒体智能，以及由于数据积累带来的数据智能，如 AI＋基于语音的情绪分析、AI＋基于语音的会议速记与互译、AI＋多语言信息实时交流等。

1.3.6　远程医疗

通过使用 5G 高速率传输网络可以实现网络诊断和远程医疗咨询。通过远程传输数据、文本、语音和图像数据，患者可以在本地医院接受专家的远程问诊、治疗甚至护理。远程医疗可以保障偏远地区或缺乏高质量医疗条件的患者获得良好的诊断和治疗，这在一定程度上缓解了医疗资源分布不均的问题。

华中科技大学出版社

1.3.7　科幻般的智能家居

5G 能够让科幻电影中的家庭场景成为现实。在回家之前，空调已经打开，热水已经备好，米饭也已自动煮熟，需要浏览的每日新闻会定期推送到您的手机，不必要的广告信息得以智能过滤。智能家居系统还可以监控家庭的内部情况，读取生活中的各项数据，消除外界的噪声和干扰。智慧家庭客户端就像一个无形的私人管家，随时照顾着你的生活和起居。

1.3.8　颠覆传统教育

5G 将颠覆传统教育方式，智慧校园会逐步开展施行。在这个模式下，教员在线授课，学生网络听课、完成课堂作业并参与线上期末考核。学校与学校之间互相开放教学资源，校外的人员可以通过验证身份浏览各校图书馆的图书，参与课堂教学互动，人们可以实现跨地域的学习，不受传统课堂的限制。

1.3.9　基于网络的无人驾驶成为可能

4G 的网络延时约为 50 ms，这不能满足无人驾驶汽车所需的响应时间。而 5G 网络延时仅为 1 ms，这使自动驾驶汽车在道路上畅通无阻成为可能。例如，一辆无人驾驶汽车以 100 km/h 的速度在高速公路上飞奔，50 ms 的时间行驶约 2 m 距离，这可能成为生与死之间的距离，也让 5G 网络下的无人驾驶成为现实。

值得一提的是，仅仅依赖单一车辆的快速响应并不能保证不发生事故。在无人驾驶中，网络传输技术不可或缺，汽车必须具备与互联网、局域网联络和道路环境识别的功能，包括车与车的联络对话、车与卫星通信、车与天气预报的联络、车与交通指挥网的联络，才能正确识别和选择道路、正确服从交通警察的指挥、正确决定通过交叉路口、正确避让危险和安全行车。5G 的高容量特性能让物联网得以实现，无人驾驶将不止依赖于雷达和摄像机，道路上的全部元素在通过 5G 连接至物联网后，与无人驾驶汽车之间形成信息交互，无人驾驶车辆将与信号灯、斑马线、其他车辆产生信息间的关联，避免多种危险的发生。例如，当车辆超速时，道路可以迅速向它发来降速指令；当有行人出现在路边时，路边的感知装置会提前通知无人驾驶汽车，要求提前减速或加强局部瞭望。

1.3.10　5G 改变未来战场——智能化战争

借鉴美国的 5G 军事化应用构想：随着军事活动加速向智能化领域延伸，指挥控制平台、空战平台、精确制导导弹等方面将由“精确化”转变为“智能化”。

与现有通信系统相比，5G 传输速率和稳定性能够轻松满足未来战场的通信任务需求。军队作战利用增强现实技术，可对目标物体进行方位识别、远程侦察及预警，更新实时情报以及基层指挥员作战电脑上的战场信息，实现战场指挥网络化、及时化、一体化。

此外，一旦 5G 通信系统在全球部署，其服务能力将能够与军用通信系统相媲美甚至有所超越。各类军用移动终端，不仅可以接入军中战术通信网络，也可以直接利用 5G 通信网络，进行加密数据通信，从而为军队提供“更广覆盖、更高速率、更强兼容”特点的空地一体化通信功能。5G 网络部署必将极大增强战场的信息化保障能力。

除此之外，军队在对外作战过程中，无需频繁调动军用通信卫星、预警机等资源，利用 5G 通信系统，即可实现战场信息终端的相互连通，达到通信近乎无阻碍的水平，大大降低军事作战成本。因此某些国家希望通过主导 5G 系统建设的全球标准化，促进地面移动通信系统与卫星通信系统的无缝衔接，由此推动新一代空地一体化通信网络建设和军民共用的通信系统构建的意图，变得更加容易理解。该系统的构建或许能改变未来战场的信息指挥体系。

2018 年 12 月，美国国际战略研究中心发布题为《5G 技术将重塑创新与安全环境》的报告。该报告指出，当前的 5G 通信技术的竞争将涉及网络、数据、互联网的发展方向，经济增长方式以及各国将面临的新风险和薄弱点，因此 5G 技术的开发者、标准制定者以及知识产权归属者都会影响网络安全、创新及就业。5G 通信技术因其可用于机器人、人工智能及大量的先进传感设备中而具有重大的军事价值，或将成为新军事能力的技术基础。

报告指出，5G 通信技术的竞争将上升为国家层面的战略竞争，当敌对力量牵涉到 5G 通信技术的竞争时，国家安全就会面临风险。因此，5G 通信技术的竞争是一场国家安全层面的经济竞赛。

5G 通信技术将从两个方面对未来智能化战争产生重要的推动作用。其一，5G 通信技术的特性使各国能够在未来战场上更加有效地指挥和控制各种无人系统。尤其是高速率、低延时的优点将使得对战场各类无人系统的操控更加精准，极大地提升了各类作战系统的自主操控能力。

华中科技大学出版社