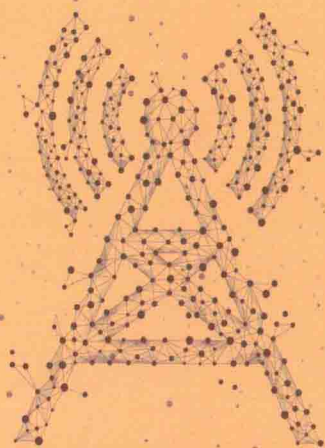


1  
2  
3  
4  
5



Mobile Communication  
A Brief History  
—from 1G to 5G

# 移动通信简史

## ——从1G到5G

郭 铭◎编著

5  
4  
3  
2  
1



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

# 移动通信简史

——从 1G 到 5G

郭 铭 编著



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

## 内 容 简 介

本书回顾和介绍移动通信的起源、发展历史以及第五代移动通信系统的现状,并探讨无线通信的未来发展趋势。本书也穿插地介绍了一些通信技术方面的基本概念、通信行业一些有趣的公司和对移动通信领域做出过重要贡献的人物。

本书适合任何对移动通信的来龙去脉和原理感兴趣的读者。

### 图书在版编目(CIP)数据

移动通信简史:从1G到5G / 郭铭编著. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2020.6

ISBN 978-7-5635-6082-0

I. ①移… II. ①郭… III. ①移动通信—技术史 IV. ①TN929.5-09

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第092354号

策划编辑:彭楠 责任编辑:孙宏颖 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:北京玺诚印务有限公司

开 本:720 mm×1 000 mm 1/16

印 张:10.5

字 数:180千字

版 次:2020年6月第1版

印 次:2020年6月第1次印刷

---

ISBN 978-7-5635-6082-0

定价:39.00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 ·

## 前 言

和人类社会其他科技领域一样,在过去的 100 多年里,移动通信经历了从马可尼时代简陋的无线电报装置到现代先进复杂的第五代通信系统这样巨大的发展变化。

人类社会早期的无线电通信建立在电磁波的发现,特别是赫兹实验的基础上,它解决了人类最基本的远距离传送简单信息的需求;早期的蜂窝网小区制移动通信系统则基于 AT&T 贝尔实验室关于蜂窝网通信的研究成果,解决了早期无线通信中的通话质量差、容量不足、安全性等问题,满足了人们最基本的通话移动性要求;在此之后,移动通信行业就进入了快速发展的时期。

如果我们回顾历史,就会发现,移动通信系统在最近的几十年中,大约每过十年左右就会有一次更新迭代,从 1G 发展到了现在的 5G。每一代的演进都超越并解决了上一代系统中存在的一些问题。除了人类社会发​​展所自然产生的需求驱动外,通信理论与技术、电子元器件(特别是集成电路)的发展进步则起到了使能者的关键作用。

移动通信对人类社会的影响十分广泛与深刻,国际与国内关于这一领域的发展历程有不少零散的资料,但是似乎还没有以一本书的方式来对整个历史做个记录。这也就是写作本书的目的,即希望能较全面地回顾并梳理一下人类移动通信的起源和变迁以及通信技术的演进。此外,本书中也适当地穿插介绍一些无线通

信方面比较有趣的公司和贡献较大的人物。

本书适合的读者范围比较广泛,可以是通信电子行业内的人士,也可以是行业外感兴趣的读者。

本书也参考了一些网络上的资料和微信公众号中的内容,因故不能在书中一一列出,在此对这些作者一并表示感谢。

本书的完成要感谢我的家人以及所有支持帮助过我的朋友。此外本书中有不少作者本人的观点和感悟,不一定都正确,敬请读者谅解并指正。

# 目 录

<b>第 1 章 无线通信的起源</b> .....	1
1.1 电和磁的发现 .....	2
1.2 麦克斯韦和电磁场理论 .....	7
1.3 最早的无线电通信 .....	12
1.4 香农和信息论 .....	19
1.5 现代移动通信系统的构成 .....	27
<b>第 2 章 早期的移动通信</b> .....	29
2.1 模拟通信的基本原理 .....	29
2.2 早期的商用无线电通信系统 .....	34
2.3 贝尔实验室和第一代蜂窝移动通信系统 .....	36
2.4 摩托罗拉与马丁库帕和大哥大 .....	45
<b>第 3 章 数字化的时代</b> .....	55
3.1 无线通信向何处去 .....	55
3.2 数字通信的原理 .....	57
3.3 GSM 的起源 .....	62
3.4 其他第二代移动通信系统 .....	67
3.5 诺基亚 .....	69

<b>第 4 章 3G 时代来临</b> .....	77
4.1 CDMA 的起源 .....	78
4.2 雅各布、维特比和高通 .....	83
4.3 三大 CDMA 标准 .....	91
4.4 华为 .....	94
4.5 北方电讯的兴衰 .....	101
<b>第 5 章 LTE 时代</b> .....	106
5.1 OFDM 技术简史 .....	107
5.2 WiMAX 的插曲 .....	109
5.3 进入 LTE 时代 .....	110
5.4 主要设备商 .....	112
<b>第 6 章 5G 时代</b> .....	115
6.1 5G 的起源 .....	115
6.2 从 ITU 愿景到 3GPP 规范 .....	117
6.3 5G 的关键技术 .....	120
6.3.1 新的空中接口设计 .....	121
6.3.2 大规模天线技术 .....	125
6.3.3 毫米波 .....	127
6.3.4 网络切片、软件定义网络和网络功能虚拟化 .....	128
6.4 试验和商业部署状况 .....	129
<b>第 7 章 5G 改变社会</b> .....	131
7.1 不同的观点 .....	131

7.2 5G 的应用 .....	134
7.2.1 娱乐和多媒体 .....	134
7.2.2 体育场馆和演唱会 .....	135
7.2.3 游戏 .....	135
7.2.4 VR/AR .....	136
7.2.5 智慧城市 .....	137
7.2.6 医疗健康 .....	138
7.2.7 工业互联网 .....	140
7.2.8 智慧农业 .....	141
7.2.9 车联网和自动驾驶 .....	142
7.2.10 高速列车 .....	142
7.2.11 无人机 .....	143
7.2.12 空对地宽带无线通信 .....	144
7.3 5G 与 AI .....	145
第 8 章 无线通信的未来 .....	147
参考文献 .....	153
附录 1 移动通信大事记 .....	155
附录 2 图片来源 .....	157

## 第1章

# 无线通信的起源

现代通信包括有线通信和无线通信两种不同的类型。有线通信指的是通过光纤、同轴电缆、电话线、网线等方式传递信号,常见的有电话、有线电视、以太网、光纤等通过固定电缆线路通信的方式。无线通信除了我们常见的手机通信外,还包含蓝牙、WiFi、卫星、微波等各种通过电磁波传输信号的通信方式。

在两大类通信方式中,无线通信(尤其是基于蜂窝网小区制的无线通信系统)成为近几十年来通信业中发展最快并且影响最大的一个领域。根据 GSMA(全球移动通信系统协会)的统计,目前全世界已经拥有超过 50 亿的移动用户和移动通信设备。在许多国家和地区,手机和其他各种移动终端已成为人们日常生活和工作中不可缺少的工具。

移动通信在当前之所以成为人们关注的一大焦点,主要原因在于:

① 移动通信大大地提高了人们生活和工作自由度,其社会和战略价值很高。

② 为了达到好的覆盖效果,通常需要布置大量的无线基站,手机和其他用户

终端的数量就更加庞大了。因此,移动通信在经济中占的比重很大。

③ 由于无线电信道本身的特点,移动通信的技术(涉及天线、射频、基带处理、软件协议等很多技术)复杂度非常高,因此人们对它的关注度也就很高。

那么,无线电通信发展到今天,它是怎么起源的呢?这个就不能不从人类对电磁场的发现谈起。电磁场作为一种物理现象的存在和它的空间传播特性是整个无线电通信的基础。没有电磁场的发现,也就没有现代无线通信。

## 1.1 电和磁的发现

电和磁是大自然中最早被好奇的人们和科学家们所关心和研究的自然现象之一。早在远古时代,人们通过闪电等自然现象就已经注意到“电”这种现象的存在,但是人们对这种现象理解甚少,也无法解释其背后的原因。相传英文中的“电学”(electricity)一词来源于古希腊语中的“琥珀”,来自古希腊的一位牧羊人想用羊皮把琥珀擦亮,结果却发现琥珀具有吸引碎木屑的特性,古希腊人将这种特性称为电。到 18 世纪,美国科学家和政治家富兰克林通过著名的风筝实验,证明了闪电其实是一种电的现象,并且提出了电流的概念。他还指出,电荷有正负之分,物质也有导体和绝缘体之分。

此外,“磁”作为一种自然现象也很早被人们注意到。在公元前 600 多年的《管子·地数》中,作者就提到“上有磁石者,其下有金铜”。到公元 11 世纪,中国科学家沈括在其《梦溪笔谈》中记录了磁针始终指向南北方向这一现象,中国古人把磁针(指南针)作为航海用的导航工具。到了 1187 年,欧洲的 Alexander Neckam 也独立地发现了指南针的物理现象,并将它应用于航海中作为导航的工具。和“电学”一词类似,相传英文中的“磁学”(magnetism)一词也来源于古希腊的一位牧羊人的名字,这位牧羊人发现他的包有铁皮的牧羊杖会被路旁的石块吸引(磁铁矿石)。

在19世纪之前,电和磁作为两个独立的物理现象被人们注意到,但人们并没有意识到它们之间的联系。到了19世纪,人们开始发现,电和磁并不独立存在,它们之间是有相互联系和作用的,电荷的运动产生电流,而电流则可以产生磁现象。一些早期研究电磁现象的人们意识到这两者之间似乎存在某种联系,但是却无法解释其中的奥秘,更不能准确地描述它们之间的相互关系。

到1819年,丹麦物理学家奥斯特(Oersted)发现,如果在一个电路中有电流通过,它附近的普通罗盘的磁针就会发生偏移。也就是说,电流可以力作用于磁针。图1-1所示为奥斯特所做实验的示意图,他把伏打电堆的两极用白金丝连接起来,并把小磁针放在附近,原本指向南北方向的磁针发生了旋转,并在垂直于导线的方向上停了下来。由此,奥斯特发现电和磁是相互联系并能相互作用的,进而开始了电和磁之间相互作用的研究。

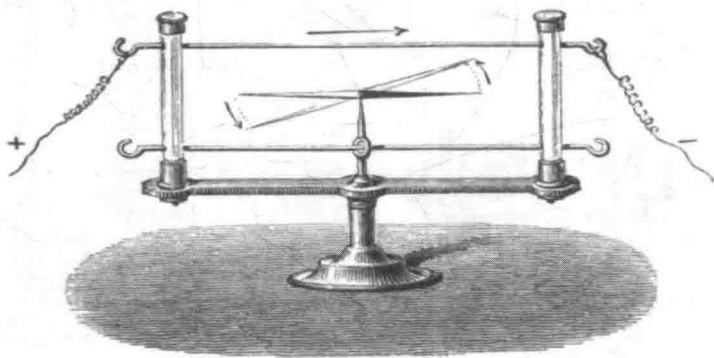


图1-1 丹麦物理学家奥斯特的磁针实验

真正对电磁现象进行全面系统的科学实验的则是英国物理学家迈克尔·法拉第(Michael Faraday,图1-2)。法拉第1791年出生于伦敦的一个铁匠家庭,他的家庭十分贫穷,无法供他上学。因此从十三岁起,法拉第就开始到书店当学徒做装订工。不过,法拉第自小勤奋好学,他在闲暇时常常会阅读店里的科学书籍,并对电学产生了浓厚兴趣。在业余时间,他还自己动手做实验,研究电磁现象。后来,法拉第有幸得到英国皇家学会科学家戴维的欣赏,得以进入英国皇家学会工作,刚开始是做戴维的助手。法拉第在皇家学会实验室勤奋工作的情景如图1-3所示。



图 1-2 英国物理学家法拉第

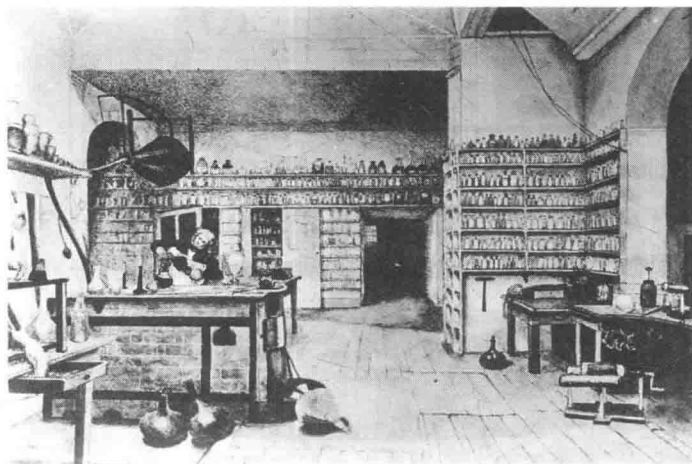


图 1-3 法拉第在皇家学会实验室工作

法拉第从奥斯特的实验中得到启发,并意识到,既然电可以对磁产生作用,那么磁很可能也可以对电产生作用。法拉第基于这一想法做了大量的电磁实验,并证实了这一想法。

图 1-4 为从法拉第的日记中摘取的他所做的电磁实验的示意图。他发现,当一个线圈中有电流通过时,可以在另一个放在附近的线圈中感应出电流来,并且第二个线圈中的电流仅在第一个线圈中的电流从零增大到正常值,或从正常值减小到零的过程中才存在。也就是说,电磁感应是一种动态的过程。

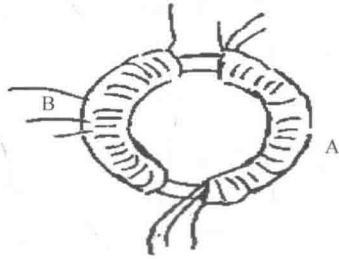


图 1-4 法拉第的线圈实验 1

此外,法拉第还发现(如图 1-5 所示),当磁体向线圈推入或拉出时,线圈中也会感应出电流。

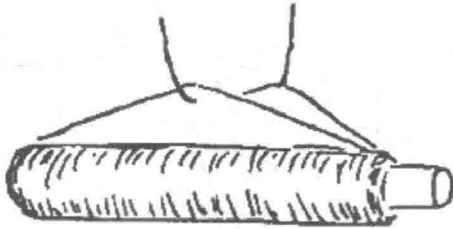


图 1-5 法拉第的线圈实验 2

这表明,电流的产生需要另一个电路的电流发生变化,或者需要磁石的位置发生变化。法拉第由此推断,电流可以产生磁,磁的变化也可以产生电流。

法拉第根据他所发现的电磁感应现象,在 1831 年发明了一种能够通过磁场产生电流的装置(如图 1-6 所示),这其实也就是世界上第一台发电机。

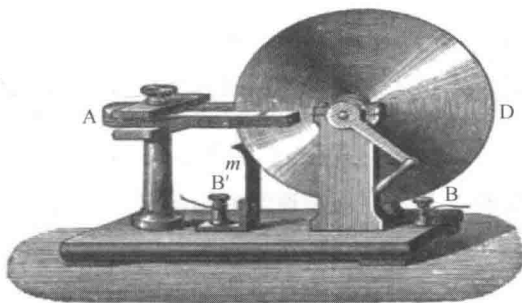


图 1-6 作为发电机原型的法拉第碟片

除了发现电磁感应现象,法拉第还引入了电场和磁场的概念。他认为电和磁之所以能相互作用,是因为电和磁的周围都存在“某种东西”,而电和磁之间的相互作用要通过它来传递。这和当时牛顿力学中的超距作用的传统观念截然不同。牛顿力学认为,物体之间存在着超距作用。到了法拉第这里,超距作用被充满整个空间的“某种东西”所替代。这其实就是原始朴素的物理学“场”(field)的概念,电荷、物体之间通过虚无空间的作用力可以看成它们周围的“场”之间近距离作用的结果,电力、磁力、引力都是如此。

法拉第还首次使用了电力线和磁力线来解释电、磁现象(图 1-7)。

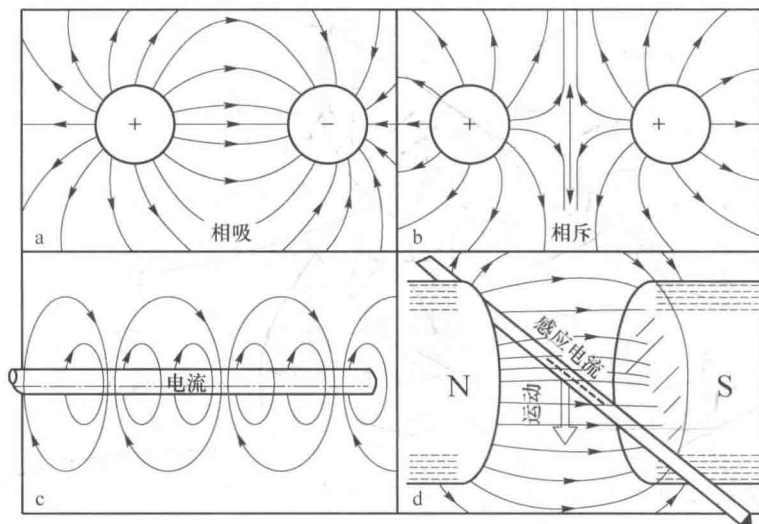


图 1-7 法拉第提出的电力线和磁力线示意

后来,法拉第担任了剑桥大学教授,并成为英国皇家学会会员。法拉第 1867 年去世。他的名字被后人用来表示电容的国际单位,以纪念他在电磁学方面的巨大贡献。

法拉第的电磁实验及其发现对物理学的影响极其深远。不过,法拉第是一位实验大师,他的电磁学观念比较朴素,而且在很大程度上都是定性的而非定量的。给法拉第的观念建立完整定量的数学体系的任务后来由麦克斯韦完成了。

## 1.2 麦克斯韦和电磁场理论

### 1. 麦克斯韦

除了法拉第,在经典电磁学理论方面贡献最大的莫过于英国物理学家麦克斯韦(图 1-8)。



图 1-8 麦克斯韦(1831—1879 年)

詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(James Clerk Maxwell)1831 年出生于苏格兰的爱丁堡。麦克斯韦自小聪明过人,据说 15 岁就开始向爱丁堡皇家学院递交科研论文。

1847 年,麦克斯韦中学毕业后进入爱丁堡大学,攻读数学与物理。1850 年麦克斯韦转入剑桥大学三一学院数学系学习,于四年后毕业并留校任职。

和擅长实验的法拉第不同,麦克斯韦是一位出色的数学家和理论家,他的理论造诣很深。虽然早年他的兴趣在纯数学研究方面,但后来他更感兴趣的是把数学方法应用到描述和解释各种物理现象中去。

麦克斯韦对电学的研究始于 1854 年,当时他刚从剑桥大学毕业不久,并读到

了法拉第的《电学实验研究》一书。当时,人们对法拉第的电磁学理论看法并不一致,其中最主要的原因就是人们受牛顿力学“超距作用”的传统观念影响很深,不少人并不认同电力线、磁力线、场这样的观念。此外,法拉第擅长实验,他的想法很多都是以朴素直观的形式来描述的,缺乏定量的分析。

麦克斯韦研究后认为,法拉第的电磁感应现象和力线的表达方式具有很大的潜在价值,但是同时也存在对于电磁现象缺乏数学定量表述的缺点。于是,他在法拉第工作的基础上对整个电磁现象作了非常系统的研究,并最终完成了对电磁现象的完整数学描述。

麦克斯韦的研究成果先后发表在 3 篇重要论文中,即《论法拉第的力线》《论物理的力线》《电磁场的动力学理论》。在论文中,麦克斯韦对前人在电磁学方面所做的工作进行了综合概括,将电磁场理论用简洁的数学形式表示出来,并推导出后来成为经典电动力学基础的麦克斯韦方程组。

## 2. 麦克斯韦方程组

麦克斯韦方程组由 4 个方程组成,它包括高斯定律、高斯磁定律、法拉第感应定律和麦克斯韦-安培定律 4 个部分。

麦克斯韦方程组有积分和微分两种表达方式,其微分表达方式如下。

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

麦克斯韦方程组把磁场的变化率和电场的空间分布,以及电场的变化率和磁场的空间分布定量联系起来。

麦克斯韦方程组的最大特点在于它整合了前人在电磁学方面的所有研究成果,具有通用性。在麦克斯韦之前电磁学先驱们所发现的所有的电磁现象和规律都可由麦克斯韦方程组推导出来,并成为其中的特例。许多之前没能解决的未知现象也能从麦克斯韦方程组推导中找出答案。

更奇妙的是,根据这个方程组可以证明电磁场可以周期振荡的方式存在,并且一旦发出就能以电磁波的方式通过空间向外传播。

电磁场的空间传播现象直观的解释可以参考图 1-9 所示的情形(注:参考文献[1])。假如存在两个带电的球形导体,一个带正电,另一个带负电。那么,在这两个球形导体的周围空间中就存在着静电场,它储存着电荷的电能。此时,如果用导线把这两个球形导体连接起来,就会有电流从一个球形导体流向另一个,而它们的电荷以及它们周围的电场很快就开始减小,最后则完全消失。同时,流过导线的电流将在导线周围产生磁场,并将电场的能量转换为磁场的能量。不过,这个过程到此并未结束,导线中的电流将会继续流动,使得两个小球带上和初始状态相反的电荷,此时,磁场的能量又重新变为电场的能量,直到电流又变为零。

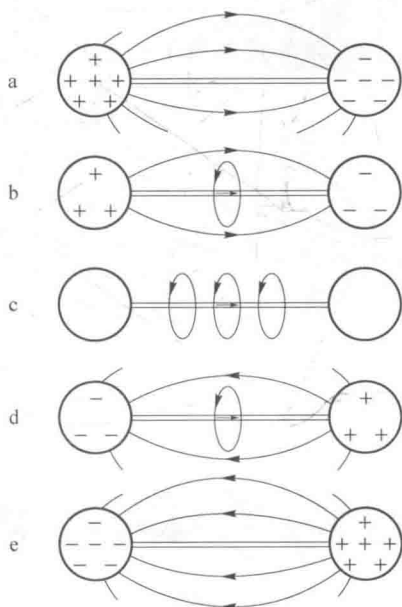


图 1-9 电磁转换原理示意