

前言

PREFACE

物联网是融合传感器、通信、嵌入式系统、网络等多个技术领域的新兴产业,是继计算机、互联网和移动通信之后信息产业的又一次突破性发展。物联网旨在达成设备间互联互通,实现局域网范围内的物品智能化识别和管理,其中通信技术是物联网系统中的核心和关键技术。物联网中所采用的通信技术以承载数据为主,是当今计算机领域发展最快、应用最广和最前沿的通信技术。物联网通信技术作为一项前沿技术有着非常广阔的发展前景和发展空间,无论是国家还是企业,都特别注重物联网技术的应用价值。从某种意义上来说,物联网系统汇集了当今通信领域内各种先进的技术,具有非常丰富的技术内涵。

随着物联网产业的蓬勃发展,越来越多的物联网技术应用到人们的生活中,潜移默化地影响着人们的生活方式和生产方式。针对物联网行业的高速发展和普通高等院校转型发展的现状,为推动物联网、通信工程等专业应用型人才的培养,为其提供系统、实用的物联网通信技术教材,我们编撰了此书。

本书以物联网通信技术的基础知识为出发点,遵循“教中学、学中做、做中用”一体化的设计思路,在教材编写上注重实用性,弱化理论,通过案例讲解加深读者对基本理论的理解。通过本书的学习,学生可掌握物联网通信技术的基本概念、原理和关键技术,为物联网、通信工程等专业学生今后从事相关实际工作打下基础。

本书共8章,分为三部分:第一部分为第1~2章,讲述物联网的通信技术发展历程以及基础技术知识,包括移动发展史概述和移动通信技术,本部分内容是学习物联网通信技术的基础;第二部分为第3~5章,讲述目前主流的物联网移动通信基础知识和信道编码的技术以及关键技术,包括多址技术、切换技术以及信道的数据模型,本部分内容是物联网通信技术的重点;第三部分为第6~8章,讲述物联网通信技术的典型应用,包括WiFi的应用技术和实例教程,以及ZigBee通信技术,本部分内容是对应用物联网通信技术解决实际问题的案例介绍。

本书由于坤、蒋晓玲、蒋峰任主编,陈晓兵、章慧任副主编,富越旻、刘辉参与编写。其中第1章由于坤编写,第2章由陈晓兵编写,第3章由蒋晓玲编写,第4章由蒋峰编写,第5章由于坤编写,第6章由蒋晓玲编写,第7章由于坤和刘辉编写,第8章由章慧编写。全书由于坤统稿。在本书的编写过程中得到了章慧老师的支持和帮助,在此表示感谢!由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

目录

CONTENTS

第 1 章 通信发展史概述 /1

- 1.1 初识通信 /2
- 1.2 古代通信 /3
- 1.3 近现代通信 /6

第 2 章 移动通信技术 /11

- 2.1 第一代移动通信系统 /12
- 2.2 第二代移动通信系统 /15
- 2.3 第三代移动通信系统 /23
- 2.4 第四代移动通信系统 /32
- 2.5 第五代移动通信系统 /36

第 3 章 移动通信基础 /49

- 3.1 无线信道传播特点 /50
- 3.2 蜂窝系统 /51
- 3.3 频段拍卖 /52
- 3.4 多址方式 /53
- 3.5 切换技术 /55
- 3.6 拓展阅读:中国通信发展 /58

第 4 章 信道的基础知识 /60

- 4.1 信道的基本概念 /61
- 4.2 信道与噪声及同步系统 /63

第 5 章 通信系统工作原理 /66

- 5.1 调制的分类 /67
- 5.2 数字传输系统 /67
- 5.3 基带信号 /68

第 6 章 WiFi 通信技术 /70

- 6.1 WiFi 技术介绍 /71
- 6.2 WiFi 网络安全策略 /73

第 7 章 ZigBee 通信技术 /109

- 7.1 ZigBee 概述 /110
- 7.2 ZigBee 协议栈速读 /110
- 7.3 ZigBee 性能分析 /114
- 7.4 ZigBee 应用 /115
- 7.5 ZigBee 网络拓扑结构 /116
- 7.6 ZigBee 网络路由协议 /119

第 8 章 ZigBee 模块基础实验 /125

- 8.1 跑马灯实验 /126
- 8.2 按键输入实验 /141
- 8.3 串口通信实验 /146

第1章

通信发展史 概述

知识点

- 通信的定义
- 古代通信
- 近现代通信



1.1

初识通信

◆ 1.1.1 通信的定义

通信,指人与人或人与自然之间通过某种行为或媒介进行的信息交流与传递,从广义上指需要信息的双方或多方在不违背各自意愿的情况下无论采用何种方法,使用何种媒介,将信息从某一方准确安全传送到另一方。

通信在不同的环境下有不同的解释,在出现电波传递通信后,通信(communication)被单一解释为信息的传递,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,通信是在人类实践过程中随着社会生产力的发展对传递消息的要求不断提升使得人类文明不断进步。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(telecommunication),这种通信具有迅速、准确、可靠等特点,且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制,因而得到了飞速发展和广泛应用;在现今因电波的快捷性使得从远古人类物质交换过程中就结合文化交流与实体经济不断积累进步的实物性通信(邮政通信)被人类理解为制约经济发展的阻碍。

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。到了今天,随着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,提高了经济的效率,深刻地改变了人类的生活方式和会面。

◆ 1.1.2 通信的分类

1. 按传输媒介分类

有线通信:是指传输媒介为导线、电缆、光缆、波导、纳米材料等形式的通信,其特点是媒介能看得见、摸得着(明线通信、电缆通信、光缆通信、光纤光缆通信)。

无线通信:是指传输媒介看不见、摸不着(如电磁波)的一种通信形式(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

模拟信号:是指信息参数在给定范围内表现为连续的信号,或者在一段连续的时间间隔内,其代表信息的特征量可以在任意瞬间呈现为任意数值的信号。模拟信号有时也称连续信号,这个连续是指信号的某一参量可以连续变化。如收音机、大哥大都是使用的模拟信号。

数字信号: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的信号,也称离散信号。如计算机、数字电视、第二代移动通信等使用的都是数字信号。

3. 按工作频段分类

我们知道,频率与波长的关系为: v (波速 m/s) = f (频率 Hz) λ (波长 m),其中: v 表示波速,单位:m/s; f 表示频率,单位:Hz; λ 表示波长,单位:m。

长波通信(long-wave communication):利用波长大于 1000 m(频率低于 300 kHz)的电

磁波进行的无线电通信,亦称低频通信。它可细分为在长波、甚长波、超长波和极长波。

短波通信(short-wave communication):无线电通信的一种。波长在 50~100 m 之间,频率范围 6~30 MHz。发射电波要经电离层的反射才能到达接收设备,通信距离较远,是远程通信的主要手段。由于电离层的高度和密度容易受昼夜、季节、气候等因素的影响,所以短波通信的稳定性较差,噪声较大。目前,它广泛应用于电报、电话、低速传真通信和广播等方面。尽管当前新型无线电通信系统不断涌现,短波这一古老和传统的通信方式仍然受到全世界普遍重视,不仅没有被淘汰,还在快速发展。

微波通信(micro-wave communication):使用波长为 1~0.1 m(频率为 0.3~3 GHz)的电磁波进行的通信。微波通信不需要固体介质,当两点间直线距离内无障碍时就可以使用微波传送。利用微波进行通信具有容量大、质量好等优势,并可传至很远的距离,因此是国家通信网的一种重要通信手段,也普遍适用于各种专用通信网。

4. 按调制方式分类

基带传输:是指信号没有经过调制而直接送到信道中去传输的通信方式。

频带传输:是指信号经过调制后再送到信道中传输,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进行传输的一种通信工作方式。单工通信的例子很多,如广播、遥控、无线寻呼等。这里信号(消息)只从广播发射台、遥控器(见图 1-1)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: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。对讲机(见图 1-2)、收发报机等都是采用这种通信方式。

全双工通信:是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式。在这种方式下,双方都可同时进行收发消息。很明显,全双工通信的信道必须是双向信道。生活中全双工通信的例子非常多,如普通电话机(见图 1-3)、手机等。



图 1-1 遥控器



图 1-2 对讲机



图 1-3 电话机

1.2 古代通信

现代社会的通信方式多种多样,在古代,古人也需要交流,也要通信,那么古人是如何实

现通信的呢？

◆ 1.2.1 古代官方通信——快马+驿站

通信是信源给信宿传递信息量的过程，当信源和信宿距离较近的时候，在人类的话音可以传播到的范围，人们可以通过语言来交流。但是当距离增大到人类的声音无法传播到的时候怎么办呢？在古代封建王朝的统治疆域辽阔，中央怎么实现与地方之间传递政令，与边疆军队互通军事信息呢？普通的平民百姓又是怎么和远方的亲戚朋友通信交流的呢？

聪明的古人发明了驿站来解决这个问题。驿站在古代是为传递官府文书和军事情报的人员提供食宿和换马的场所，驿站里备好脚力好的马匹，隔一段距离设置一个驿站。朝廷的通信官员骑着快马，五百里加急！呼啸而至，驿站的工作人员赶紧把提前备好的马匹换上，上马飞驰，目标下一个驿站。

我国是世界上最早使用驿站实现通信、传递消息的国家，大约在 3000 年前的周朝中国就已经建立了完备的邮驿系统。据马可波罗的记载，在元朝共有大型驿站上万处，驿马 30 万匹，尽管这里的数字可能不够准确，但是当时驿站发达程度可以管中窥豹，略见一斑了。至今在江苏高邮和河北怀来还保存着完整的古代驿站遗址（见图 1-4），古代帝王就是靠着邮驿系统来发布政令和收集各地的信息反馈，从而实现自己的统治的。

由于驿站本身不只是传递官方的政令和军队的战事信息，有时还可以承担一定的经济作用，所以从某种意义上讲，它还类似于今天的物流中心。唐朝时，李隆基为了爱妃杨玉环能吃到新鲜的荔枝，专门从今天的四川到西安铺设一路邮驿，正所谓“一骑红尘妃子笑，无人知是荔枝来”说的就是此事。

和现代通信系统中有鉴权认证系统一样，驿站的使用是需要凭证的，特别是官方的使用，对这种凭证有着严格的管理。官府使用的凭证叫勘合，军方使用的叫伙牌，而紧急公文上标几百里加急是传送文书重要程度的体现，这点类似于现代通信邮政系统中的优先级，如果七十里是普通挂号信的话，那八百里加急就是今天的特快专递。

驿站+快马就构成了中国最古老的有线通信，为何说是有线通信呢？因为驿站的通信是送信人骑着快马，沿着驿道奔驰，尽管马匹不停地换，但是驿道是不变的。这就和现代通信中的电话有些类似，电话的信号是电信号沿着电话网在跑，最终到达通信的另一个电话端；而古代的送信人也是沿着一条条的驿道组成的驿道网来实现通信的，最终把信送到目的地。

驿站文明不但巩固了古代封建帝王的统治，同时也带动了驿站周围经济文化的发展。

◆ 1.2.2 古代军事通信——烽火台的狼烟

古代的有线通信是随着驿站的出现而出现的，据考证至少在周朝就已经有了成熟的邮驿系统。几乎与邮驿系统同时出现的还有烽火台（见图 1-5），早在商朝就有了烽火台——这个中国历史上最早的军事通信网。

烽火台在古代主要用于军事用途，当时约定，若有敌军进犯，皇帝就命人把烽火台的狼烟或者柴草点着，狼烟的升起意味着有敌人进犯，而诸侯必须按时救援。烽火台白天用狼烟发信号，晚上用点燃的柴草发信号，晚上柴草的火光容易被人发现，白天用狼烟的原因是由于狼粪点燃后的烟很浓而且会升得很高而不散。狼烟就是信号，它包含的信息就是敌人来



图 1-4 古代驿站遗址(现在已经成为旅游景点)

犯。信源是烽火台,信宿是诸侯们,信道是空气,故称之为人类历史上最古老的应急通信。

人们之所以对烽火台这么熟悉,一个古代的历史事件功不可没,它就是传说中的烽火戏诸侯。周幽王有个爱妃叫褒姒,貌若天仙,是个难得一见的美女,但是此美女有个特点——从来不笑。周幽王很郁闷,美人越是不笑,周幽王越好奇,难道天下还有我皇帝做不到的事情?为博得美人一笑,周幽王毅然决然地点燃了烽火台的狼烟,诸侯们看见狼烟以为皇帝出事了,有敌人进犯了,赶紧往京城赶。到了一看,皇帝拥着笑吟吟的褒姒,诸侯很生气。后来真来了敌人,诸侯看见烽火台的狼烟也不去京城救驾了。这种使用烽火台来传递军事情报的方式得到了很好的沿用。到了汉朝的时候,烽火台的使用已经十分完备。从甘肃到新疆都有烽火台的设置,烽火台上有兵丁把守,朝廷专门设置了管理烽火台的各级官吏,甚至可以用烽火道数来表示来犯敌人的数目。

但是这种通信方式也有自己的不足之处,例如无法精确地描述来犯敌人的方位、人数、兵种、进犯的目标等。同时烽火台的通信方式是单工的,只能将敌人进犯的消息传递出去,而无法把作战命令等传递到战场。



图 1-5 烽火台

◆ 1.2.3 古代民间通信——民信局

中国古代官方通信用的是驿站,那么古代民间怎么通信呢?非常遗憾,当时的平民百姓没有邮政快递,更没有电话手机,当时的民间通信主要靠托人捎信的方式。有钱人可以雇人去送信,穷苦百姓雇不起人,只有自己亲自去送信。

最早的民间通信组织大约出现在唐朝,传说当时在四川住着一批湖北移民,他们很思念自己的故乡,于是每年推选出代表,带上信件、特产等回乡探望。时间长了,就成了一种通信组织,到清朝的时候,这种通信组织被称为民信局。

1.3 近现代通信

中国古代通信这么先进,但是到了近现代,通信工具依然没更新换代,还是快马驿站和烽火台。而西方爆发了工业革命,各国的科技创新也是如火如荼。尽管后来的洋务运动引入了一些先进的通信,但是毕竟滞后了很多年。

◆ 1.3.1 电报

19世纪30年代,由于铁路迅速发展,迫切需要一种不受天气影响、没有时间限制又比火车跑得快的通信工具。此时,发明电报的基本技术条件(电池、铜线、电磁感应器)也已具备。1837年,英国库克和惠斯通设计制造了第一个有线电报,且不断加以改进,发报速度不断提高。这种电报很快在铁路通信中获得了应用。该电报系统的特点是电文直接指向字母。

与此同时,美国人莫尔斯也对电报着了迷。他是一位画家,凭借了自己丰富的想象力,不屈不挠的奋斗精神,实现了许多人梦寐以求的目标。在41岁那年,他从法国学画后返回美国的轮船上,医生杰克逊将他带进了电磁学这个神奇的世界里。在船上,杰克逊向他展示了“电磁铁”,一通电能吸起铁的器件,一断电铁器就掉下来。还说“不管电线有多长,电流都可以神速通过”。这个小玩意儿使莫尔斯产生了遐想:既然电流可以瞬息通过导线,那能不能用电流来传递信息呢?为此,他在自己的画本上写下了“电报”字样,立志要完成用电来传递信息的发明。

回美国后,他全身心地投入到研制电报的工作中去。他拜著名的电磁学家亨利为师,从头开始学习电磁学知识。他买来了各种各样的实验仪器和电工工具,把画室改为实验室,夜以继日地埋头苦干。他设计了一个又一个方案,绘制了一幅又一幅草图,进行了一次又一次试验,但得到的是一次又一次的失败。在深深的失望之中好几次他想重操旧业。然而,每当他拿起画笔看到画本上自己写的“电报”字样时,又被当初立下的誓言所激励,从失望中抬起头来。他冷静地分析了失败的原因,认真检查了设计思路,发现必须寻找新的方法来发送信号。1836年,莫尔斯终于找到了新方法。他在笔记本上记下了新的设计方案:“电流只要停止片刻,就会现出火花。有火花出现可以看成是一种符号,没有火花出现是另一种符号,没有火花的时间长度又是一种符号。这三种符号组合起来可代表字母和数字,就可以通过导线来传递文字了。”我们现在看起来是多么简单的事啊!但莫尔斯是世界上第一个想到用点、划和空白的组合来表示字母是多么不容易!这种用编码来传递信息的构想是非常伟大

的,也非常的奇特。这样,只要发出两种电符号就可以传递信息,大大简化了设计和装置。莫尔斯的奇特构想,即著名的“莫尔斯电码”,是电信史上最早的编码,是电报发明史上的重大突破。

莫尔斯在取得突破以后,马上就投入到紧张的工作中去,把设想变为实用的装置,并且不断地加以改进。

1844年5月24日,是世界电信史上光辉的一页。莫尔斯在美国国会大厅里,亲自按动电报机按键。随着一连串嘀嘀嗒嗒声响起,电文通过电线很快传到了数十千米外的巴尔的摩。他的助手准确无误地把电文译了出来。莫尔斯电报的成功轰动了美国、英国和世界其他国家,他发明的电报很快风靡全球。

19世纪后半叶,莫尔斯电报已经获得了广泛的应用,如图1-6所示。

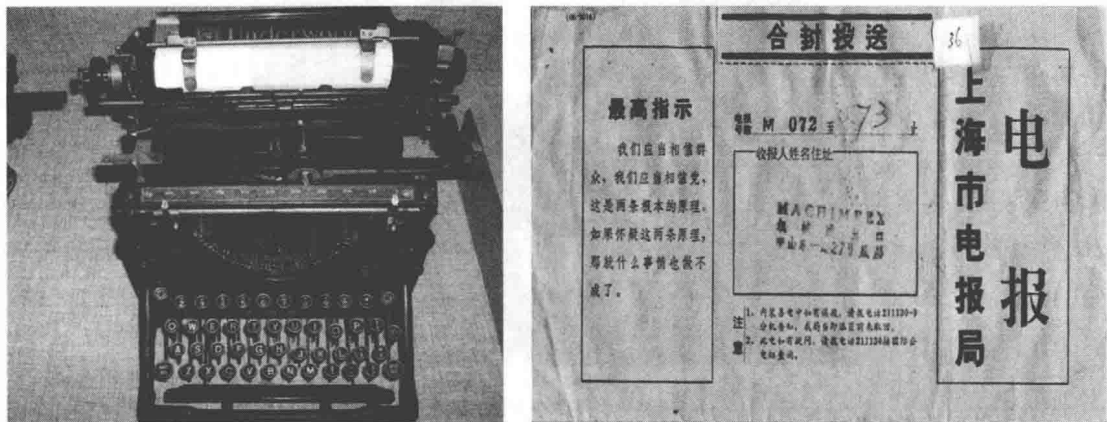


图 1-6 电报机和电报

◆ 1.3.2 电话

当提到电话的发明者,大多数人都会说出一个耳熟能详的名字:亚历山大·格拉汉姆·贝尔。是的,在初三的历史课本中清楚地写着,美国人贝尔发明了电话(见图1-7),改变了人类的通信方式。但可惜的是,美国国会2002年6月15日269号决议裁定电话的发明人为安东尼奥·穆齐(另译为安东尼奥·梅乌奇)。来回顾一下这段纠结的极富争议的电话发明史吧。

1. 电话到底是谁发明的

1845年,意大利人穆齐移民美国,此前他是一位电生理学家,一个偶然的发现他发现电波可以传播声音,经过反复试验,他做出了电话的雏形,并于1860年首次在纽约的意大利语报纸上发表了关于这项发明的介绍。然而,他却并没有申请专利,这是为什么呢?因为一个字:钱!当时在美国申请专利需要250美元的申请费用,而穆齐当时根本拿不出这笔钱。

在1870年穆齐以6美元的价格把自己费尽心思制作的电话设备卖了,别惊讶,就是6美元。这又是为什么呢?还是因为一个字:钱!为了生存,他贱卖了自己的发明。穆齐知道自己的发明绝对会影响后世,他想通过拿到“保护发明特许权请求书”的方式保护自己的发明,然而每年要缴纳的10美金再次让他不堪重负。1873年,穆齐的生活拮据到了靠领取社会救济金度日,付不起请求书费用的他只好想其他办法。

1874年,穆齐试图将发明卖给美国西联电报公司,而电话设备被西联公司弄丢,屋漏偏逢连夜雨,倒霉的穆齐在贝尔与西联公司签约后试图与之打官司,在人生的最后关头,尽管最高法院同意受理此案,但是可怜的穆齐却撒手人寰。但是与贝尔打官司争夺电话发明权的不仅有穆齐,还有一个叫作伊莱沙·格雷的人。此人运气也不是很好,他比贝尔申请专利的时间晚了两个小时。



图 1-7 贝尔发明的电话

2. 电话的基本原理

两个电话要进行通话,最简单的办法就是用一根电线把两个电话连起来,小时候玩的两个人拿两个话筒,中间用电线连起来,抻紧了,就能实现通话了。

现代电话的原理和这个简易电话的原理类似:

- (1)人对着话筒讲话,口中呼出的声波引起话筒中电流电压的变化。
- (2)电流电平的高低说明说话声音的强弱。
- (3)变化的电流通过电缆传给对方的听筒。
- (4)听筒将变化的电流转换成声波,声音入耳。

◆ 1.3.3 移动电话

1. 移动通信简介

在固话通信风靡的 20 世纪 70 年代前期,移动通信这个新事物的出现有着众多的深层次的原因。移动通信的出现和发展有着内因和外因两个因素,内因是技术的变革,因为技术总是发展变化着的,但是外因的促进作用也是必不可少的,这里的外因就是用户对于通信的需求。

在市场经济中,需求日益成为引导经济发展和产品进步的主因,随着固定电话普及,人们对于摆脱电话线的要求越来越强烈,随时随地地通话而不拘泥于电话线束缚的愿望,刺激着技术发展,于是移动通信技术应运而生。相对于固定电话通信,移动通信技术有两个基本

的特点:

(1)移动通信首先是无线的。无线通信的含义是,通信的信道是广阔的空间中的电磁波,无线信道的随机性和时变特性给移动通信技术带来巨大挑战。

(2)移动通信还是移动的。移动通信不但无线而且用户还可以移动,这就要求移动电话网络能够对用户实现动态寻址。

移动通信这两个特性贯穿于移动通信发展的始终,这种用信道质量的不稳定性来换取用户的移动性的特点,尽管失去了固定电话有线信道的稳定性和可靠性,通话质量和容量都会下降,但是换来的是用户的自由移动。

2. 移动通信的家谱

从20世纪70年代末商用的第一代移动通信(1G)开始,移动通信走过了40年的历史。下面就来看看移动通信的家谱。

第一代移动通信技术(1G),采用的是模拟蜂窝网技术,主要实现措施包括频分多址和频率规划的载波复用技术等。代表性的商用系统有北美的AMPS、北欧的NMT、英国的TACS和日本的HCMTS系统。1G时代的手机大哥大如图1-8所示。

第二代移动通信技术(2G),采用数字通信技术,20世纪90年代初期投入商用,采用时分多址和码分多址两种方式。商用系统包括欧洲的GSM和北美的IS-95,引入包括均衡、交织、RAKE接收和功率控制等新技术。2G时代的GSM手机如图1-9所示。

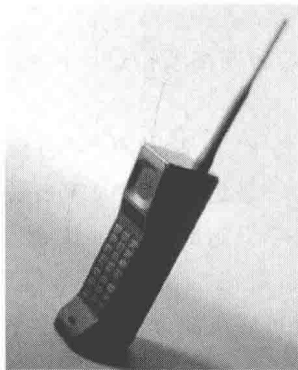


图 1-8 1G 时代的手机大哥大



图 1-9 2G 时代的 GSM 手机

第三代移动通信技术(3G),采用的是码分多址技术,以视频电话为典型业务的多媒体数据业务为主要特征,在21世纪初期实现商用,引入了多用户检测、智能天线和Turbo编码等新技术。主要商用系统包括欧洲(包括日本)的WCDMA、北美的CDMA2000和中国的TD-SCDMA等。3G时代的手机如图1-10所示。

第四代移动通信技术(4G),采用的是OFDM(正交频分复用)与MIMO(多输入多输出)为核心的、广泛采用自适应调制编码(AMC)和混合自动重传(HARQ)等技术。目前主要的4G标准化草案有3GPP的LTE-Advanced和IEEE提出的移动WiMax 802.16m。

3. 移动通信的未来

未来的移动通信技术发展更加地注重人性化,将要构建一个5W(whoever、whenever、wherever、whomever、whatever)特点的系统,即任何人在任何时间、任何地点与任何人都可以实现他想要的通信。目前的移动通信技术日趋高速化、智能化、宽带化,更好地支持移动



图 1-10 3G 时代的手机

性,同时移动通信宽带化和宽带通信移动化成为人们公认的追求目标。

与过去的移动通信网络架构的复杂性不同,未来移动通信的网络架构将更加多层次、扁平化和动态化。从 3.9G 的 UMTS(universal mobile telecommunications system,通用移动通信系统)的长期演进技术 LTE 开始,网络架构的扁平化已经开始付诸实践,同时具备动态特性的分布式网络架构在未来很可能得到更广泛的应用。

伴随着宏蜂窝、微蜂窝、微微蜂窝和家庭基站的应用,多层次的网络架构已经凸显出来,同时 2G、2.5G、3G 乃至 4G 的共存,要求未来的移动通信技术在不同的网络中切换更加的快速无缝。

未来移动通信中,可能大量部署的中继站和家庭基站势必会对网络架构造成移动冲击,分布式的网络架构可能会更加得到人们的青睐。

同时,大量节点的加入对网络的自组织能力提出了更高的要求,相应的 SON(自组织网络)技术的自配置、自优化和自愈合技术提出了很好的解决构想。最近炒得很火的物联网技术在未来的移动通信技术中,也将得到较好的发展,生活中的每个设施都将拥有 IP 地址,将生活中的每个物品都与互联网相连,可以用手机终端实时地进行跟踪、定位、监控和管理等。比如在下班的时候,用手机发个短信让空调启动,等下班到家就可以更加方便,如此种种。

第2章

移动通信技术

知识点

- 第三代移动通信系统
- 第四代移动通信系统
- 中国移动通信产业发展



2.1 第一代移动通信系统

自从电话发明之后,这一通信工具使人类充分享受到了现代信息社会的方便,但这仅仅是一个开始,而且普及范围也并不广,随着无线电报和无线广播的发明,人们更希望能有一种能够随身携带,不用电话线路的电话。

肩负着人类的希望,通信领域的科学家进行了不懈的努力,由于两次世界大战的需要,早期的移动通信的雏形已开发了出来,如步话机、对讲机等,其中,步话机在 1941 年美陆军就开始装备了,当时的使用频段是短波波段,设备是电子管的。紧接着 20 世纪 60 年代晶体管的出现,专用无线电话系统大量出现,在公安、消防、出租汽车等行业中应用。但这些仅能在少数特殊人群中使用且携带不便,能不能有更小更方便适合大众使用的个人移动电话呢?

随着对电磁波研究的深入、大规模集成电路的问世,摆在科学家面前的障碍已被一一扫清,移动电话首先被制造出来,它主要由送受话器、控制组件、天线以及电源四部分组成。在送受话器上,除了装有话筒和耳机外,还有数字、字母显示器,控制键和拨号键等。控制组件具有调制、解调等许多重要功能。由于手持式移动电话机是在流动中使用,所需电力全靠自备的电池来供给,当时是使用镍镉电池,可反复充电。

移动电话制造出来了,如何规划网络呢?科学家首先想到蜂巢的结构,在建筑学上,蜂巢是经济高效的结构方式,移动网络可以采取同样的方式,然后在相邻的小区使用不同的频率,在相距较远的小区就采用相同的频率。这样既有效地避免了频率冲突,又可以让同一频率多次使用,节省了频率资源。这一理论巧妙地解决了有限高频频率与众多高密度用户需求量的矛盾和跨越服务覆盖区信道自动转换的问题。

20 世纪 70 年代初,贝尔实验室提出蜂窝系统的覆盖小区的概念和相关的理论后,立即得到迅速的发展,很快进入了实用阶段。在蜂窝式的网络中,每一个地理范围(通常是一座大中城市及其郊区)都有多个基站,并受一个移动电话交换机的控制。在这个区域内任何地点的移动台车载、便携电话都可经由无线信道和交换机连通公用电话网,真正做到随时随地都可以同世界上任何地方进行通信,同时,在两个或多个移动交换局之间,只要制式相同,还可以进行自动和半自动转接,从而扩大移动台的活动范围。因此,从理论上讲,蜂窝移动电话系统可容纳无限多的用户。第一代蜂窝移动电话系统是模拟蜂窝移动电话系统,主要特征是用模拟方式传输模拟信号,美国、英国和日本都开发了各自的系统。

在 1975 年,美国联邦通信委员会(FCC)开放了移动电话市场,确定了陆地移动电话通信和大容量蜂窝移动电话的频谱,为移动电话投入商用做好了准备,1979 年,日本开放了世界上第一个蜂窝移动电话网。其实世界上第一个移动电话通信系统是 1978 年在美国芝加哥开通的,但蜂窝式移动电话后来居上,在 1979 年,AMPS 制模拟蜂窝式移动电话系统在美国芝加哥试验后,终于在 1983 年 12 月在美国投入商用。

◆ 2.1.1 AMPS

1964 年,当美国国会从 AT&T 公司拿走了卫星通信商业使用权后,贝尔实验室组建了移动通信部门。早期的无线网络只关注话音通信。最初,在 1964—1974 年期间,贝尔实验室开发了一种叫作大容量移动式电话系统(high-capacity mobile telephone system,

HCMTS)的模拟系统。HCMTS对信令和话音信道均采用30kHz带宽的FM调制,信令速率为10kbps。当时,由于并没有无线移动系统的标准化组织,AT&T公司就给HCMTS1这样一个第一代蜂窝系统制定了自己的标准。后来,美国电子工业协会(electronic industrial association, EIA)将这个系统命名为暂定标准3(interim standard 3, IS-3)。EIA与电信产业协会(telecommunication industrial association, TIA)合并制定的标准又称为TIA-EIA标准,对这个系统的命名也规划到了合并标准中。

从1976年开始,对这个系统使用了新的名称——AMPS(advanced mobile phone system,高级移动通信系统),而且在1984年开始部署这个系统。1975年,贝尔实验室与OKI公司签订协议,授权它制造最初的200台移动电话(汽车电话),这是由于根据FCC的裁决不允许AT&T公司制造汽车电话而采取的一项措施。接下来的一年,贝尔实验室授权OKI公司、E. F. Johnson公司和摩托罗拉公司制造了总计1800台的汽车电话——每家制造600台汽车电话(见图2-1)。由这三家公司制造的所有电话必须通过实验,但第一次没有一个通过。1977年,在芝加哥实验中,使用了世界上最初的2000台汽车电话。

实验之后,对系统技术规范书进行了定稿。美国蜂窝系统一直没能商业化,直到FCC将分配的20MHz蜂窝频谱划分成两部分:确定给电话公司(有线)的10MHz叫作频带B,而确定给寻呼/调度公司(非有线)的另外10MHz叫作频带A,频带B系统在1984年开始部署。

因此,1979年,日本的NTT公司(日本电话电报公司)在东京部署它的AMPS版本,这就成了世界上第一个商用系统。NTT系统在基站上没有采用分集方案,使用的信令是速率为300音频/秒的多音信令,其服务成本很高,话音质量也不能令人满意。但AMPS在美国部署之后,话音质量却显著改善,而且其服务成本远比NTT系统低。后来,英国对AMPS系统进行了一些修正,即将信道带宽改为25kHz,并将其称为全接入通信系统(total access communication system, TACS)。除此以外,北欧移动电话(nordic mobile telephone, NMT)主要部署在北欧四国,而德国的C450系统和英国的无绳电话2(cordless phone 2, CT2)也被投放市场,但它们不是蜂窝系统。由于20世纪80年代的技术还不能生产手持机,因此模拟AMPS系统的设计和使用都是基于汽车电话,由汽车电瓶提供能源。每个小区的覆盖半径是8英里左右。



图2-1 汽车电话

◆ 2.1.2 TACS

AMPS是美国方面的系统,在美国大力发展AMPS系统的时候,欧洲人也在发展自己的移动通信网,其中最为出名的是英国的TACS系统。

TACS(total access communication system,全接入通信系统)系统也是一种模拟移动通信系统,提供了全双工、自动拨号等功能,与AMPS系统类似,它在地域上将覆盖范围划分成小单元,每个单元复用频带的一部分以提高频带的利用率,即利用在干扰受限的环境下,依赖于适当的频率复用规划(特定地区的传播特性)和频分复用(FDMA)来提高容量,实现真正意义上的蜂窝移动通信。

TACS 系统实际上是 AMPS 系统的修改版本,主要是频段、频道间隔、频偏、信令速率不同,其他完全一致。我国邮电部于 1987 年确定以 TACS 制式作为我国模拟制式蜂窝移动电话的标准,在此之前,少数地方曾从加拿大、瑞典引入不同的体制,后来都必须执行 TACS 标准,以便互相组网。

◆ 2.1.3 NMT

NMT(nordic mobile telephone,北欧移动电话)是被瑞典、挪威和丹麦的电信管理部门在 20 世纪 80 年代初确立的普通模拟移动电话北欧标准。NMT 系统也在欧洲其他的一些国家安装了,还包括俄罗斯的部分地区,中东和亚洲。NMT 运转在 450 MHz 和 900 MHz 的带宽上。

◆ 2.1.4 大哥大的由来

移动电话刚刚进入中国的时候,有一个奇怪的名称,叫“大哥大”。大哥大的出现,意味着中国步入了移动通信时代。1987 年,广东为了与港澳实现移动通信接轨,率先建设了 900 MHz 模拟移动电话。摩托罗拉也在北京设立了办事处,推销移动电话。这种重量级的移动电话,厚实笨重,状如黑色砖头,重量都在一斤以上。它除了打电话没别的功能,而且通话质量不够清晰稳定。它的一块大电池充电后,只能维持 30 分钟通话时间。虽然如此,大哥大还是非常紧俏,有钱难求。

当年,大哥大公开价格在 20000 元左右,但一般要花 25000 元才可能买到。这不仅让一般人望而却步,就是中小企业买得起的也不多。中国第一个拥有手机的用户叫徐峰。他回忆道:“1987 年 11 月 21 日是我终生难忘的日子。这一天,我成为中国第一个手机用户。虽然购买模拟手机花费了 2 万元,入网费 6000 元,但是手机解决了我进行贸易洽谈的急需,帮助我成为市场经济第一批受益者。”

让摩托罗拉公司也没有料到的是,大哥大很快就得到了当时一部分先富起来的人的青睐。由于大哥大身躯庞大,使用它的人也多是商界人物,物随主贵,很快成为身份显赫的象征。那年头,人们对私家车没什么概念,也很少心生羡慕。那时你开一辆宝马车出门,别人也以为是公家车,远远不如大哥大那么耀眼。很快人们以拥有大哥大为荣,开始了一种炫耀攀比式的消费。

性格外向的人,会整天手拿大哥大,吃饭喝茶谈判,往桌上一放,就像押上了一个富贵的筹码和权杖,立刻会获得多一份尊重,生意谈判也因此变得轻松。性格收敛的人,会将大哥大放在擦得铮亮的老板包中,老板包夹在腋下,适当之时拿出来,拉出长长的天线,花上一元一分钟的话费,在人群里喊上一句:“喂!喂!听不清,你再说一遍。”便引来无数惊羡的目光。那个年代的人们很淳朴,从不隐藏自己对别人的仰慕之情。很多人因为有了大哥大,迅速打开了自己的社交圈。一时间,梳大背头、抹发胶、手持大哥大,成了不少人理想中的富人形象。

当年人们丝毫也不会料想到,在 20 多年以后的今天,几乎人人都会有一个小巧玲珑的手机。虽然粗笨的大哥大和它的长天线已定格在了历史的长卷中,但那些妙趣横生的场景,仍值得人们反复品味。因为横空出世的大哥大,曾经把中国人的生活引向一个新境界。

2.2 第二代移动通信系统

第一代移动通信系统采用模拟技术,有多种制式,我国主要采用的是 TACS。第二代移动通信系统主要有欧洲的 GSM、北美的 TDMA IS136 和 CDMA 技术等,目前我国广泛应用的是 GSM 系统。第二代移动通信替代第一代移动通信系统完成了模拟技术向数字技术的转变,其主要特性是为移动用户提供数字化的语音业务以及低速数据业务。

◆ 2.2.1 GSM

GSM 数字移动通信系统是由欧洲主要电信运营者和制造厂家组成的标准化委员会设计出来的,它是在蜂窝系统的基础上发展而成。

GSM 数字移动通信系统史源于欧洲。早在 1982 年,欧洲已有几大模拟蜂窝移动系统在运营,例如北欧多国的 NMT(北欧移动电话)和英国的 TACS(全接入通信系统),西欧其他国家也提供移动业务。当时这些系统是各个国家的国内系统,不可能在他国使用。为了方便全欧洲统一使用移动电话,需要一种公共的系统,1982 年北欧国家向 CEPT(欧洲邮电行政会议)提交了一份建议书,要求制定 900 MHz 频段的公共欧洲电信业务规范。在这次大会上就成立了一个在欧洲电信标准学会(ETSI)技术委员会下的移动特别小组(group special mobile),简称“GSM”,来制定有关的标准和建议书。

1991 年在欧洲开通了第一个系统,同时 MOU 组织为该系统设计和注册了市场商标,将 GSM 更名为“全球移动通信系统”(global system for mobile communications)。从此移动通信的发展跨入了第二代数字移动通信系统。同年,移动特别小组还完成了制定 1800 MHz 频段的公共欧洲电信业务的规范,名为 DCS1800 系统。该系统与 GSM900 具有同样的基本功能特性,因而该规范只占 GSM 建议的很小一部分,仅将 GSM900 和 DCS1800 之间的差别加以描述,绝大部分两者是通用的,GSM900 和 DCS1800 两个系统均可通称为 GSM 系统。

1. 无线电接口

GSM 是一个蜂窝网络,也就是说移动电话要连接到它能搜索到的最近的蜂窝单元区域。GSM 网络运行在多个不同的无线电频率上。

GSM 网络一共有 4 种不同的蜂窝单元尺寸:巨蜂窝、微蜂窝、微微蜂窝和伞蜂窝。覆盖面积因不同的环境而不同。巨蜂窝可以被看作那种基站天线安装在天线杆或者建筑物顶上的那种。微蜂窝则是那些天线高度低于平均建筑高度的那些,一般用于市区内。微微蜂窝则是那种很小的蜂窝,只覆盖几十米的范围,主要用于室内。伞蜂窝则是用于覆盖更小的蜂窝网的盲区,填补蜂窝之间的信号空白区域。

蜂窝半径范围根据天线高度、增益和传播条件可以从百米至数十千米。实际使用的长距离 GSM 规范支持到 35 千米。还有个扩展蜂窝的概念,蜂窝半径可以增加一倍甚至更多。

GSM 同样支持室内覆盖,通过功率分配器可以把室外天线的功率分配到室内天线分布系统上。这是一种典型的配置方案,用于满足室内高密度通话要求,在购物中心和机场十分常见。然而这并不是必需的,因为室内覆盖也可以通过无线信号穿越建筑物来实现,只是这