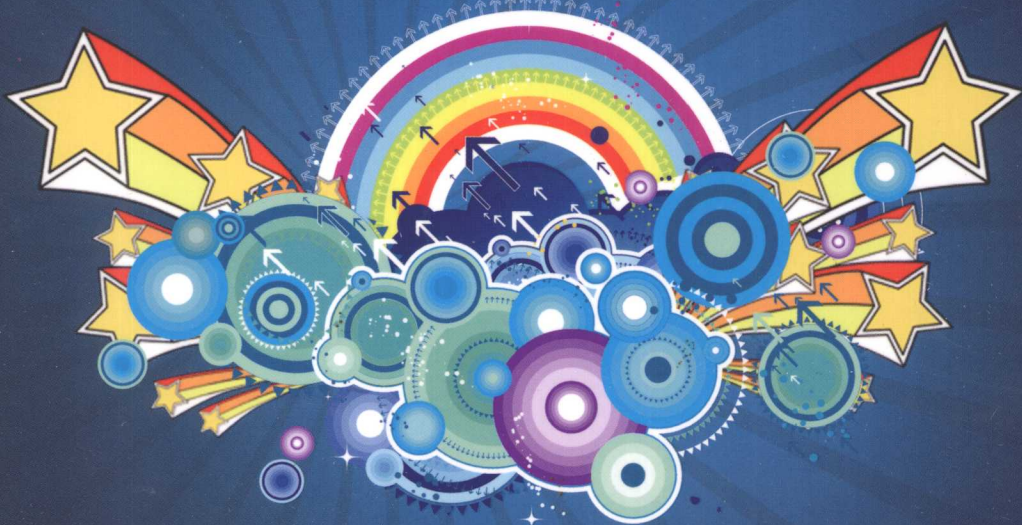


# 大话 无线通信

丁奇◎编著

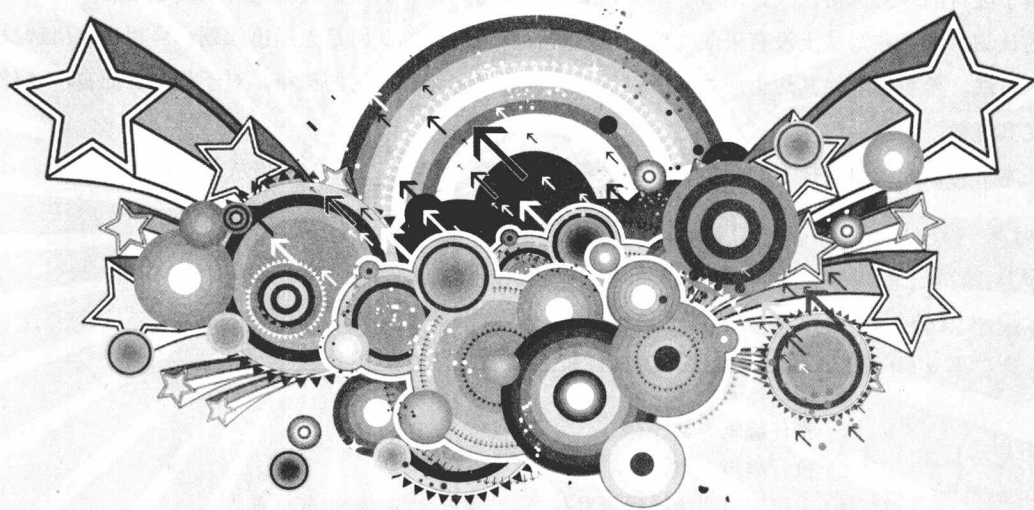


- ◎ 本书源于通信人家园09年度热帖“无线通信原理通俗解读”
- ◎ 该帖点击量突破 **600000** 次
- ◎ 本书吸收众多网友专业的意见和建议，贴近读者真实需求

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# 大话 无线通信

丁奇◎编著



人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

大话无线通信 / 丁奇编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.1  
ISBN 978-7-115-21741-7

I. ①大… II. ①丁… III. ①无线电通信 IV.  
①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第199443号

## 内 容 提 要

本书是一本介绍无线通信的通俗书, 首先介绍了有线通信向无线通信的演进、通信系统的理论基础知识和无线通信的空中接口技术, 然后以 GSM 系统为范例详细介绍了一个无线通信系统的组成、空中接口物理层、Um 接口的第三层协议、七号信令和通信的信令流程。

本书来源于通信人家园 (<http://bbs.c114.net>) 非常热门的技术帖“无线通信原理通俗解读”。全书采用了独特的行文风格, 大量采用“水煮”的方式来帮助读者快速而轻松地对无线通信技术有一个整体的认识。本书在写法上没有采取先摆结论后进行解说的方式, 而是先提出问题, 再逐步给出解决问题的方法, 希望读者知其然也能知其所以然, 向读者揭示无线通信的奥秘。对于初学者而言, 这种方式尤其有效。

本书可供无线通信技术的初学者和自学者阅读参考, 也可作为无线通信从业人员的参考书。

## 大话无线通信

- 
- ◆ 编 著 丁 奇  
责任编辑 姚予疆  
执行编辑 刘 洋
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 22.5  
字数: 441 千字  
印数: 1-4 000 册
- 2010 年 1 月第 1 版  
2010 年 1 月北京第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-115-21741-7

定价: 45.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223  
反盗版热线: (010)67171154



# 序

## Foreword

今天，无线通信技术在深刻地影响着我们每个人的生活。随着通信技术的飞速发展和通信产业链的不断成熟，手机从最初只是高端商务群体才能拥有的奢侈品，到现在已飞入寻常百姓家，成为一种大众通信工具。无论你走到天涯海角，只要有通信信号的地方，你都可以通过手机与他人取得联系。而随着时代的发展，手机也逐渐由一个单一的通信工具演变成一个综合的个人信息平台，财经、体育、娱乐等各种信息都可以通过手机轻松获得。

这些年无线通信行业发展迅猛，吸引了大批有志青年和年轻学子投身其中。应当注意的是，虽然无线通信业务和应用的种类繁多，但是无线通信技术本质的东西并没有发生根本的变化。就理论而言，现代通信技术依然基于香农的信息论，各种通信技术所应用的底层调制解调和编码译码等技术并没有本质的区别；就实际网络而言，无线通信系统从 2G 到 3G 依然遵循着“无线收发信机—无线收发信机控制器—移动交换中心”这样的体系架构。因此，我十分赞同作者的看法，不同无线通信技术之间并没有本质的区别，先搞明白一种无线通信技术，再去理解其他无线通信技术就会轻松很多。

应当说无线通信所涵盖的知识是比较多的，内容也较为复杂。如何快速而有效地学习这些知识是一个值得思考的问题。作者在本书中另辟蹊径，从相对简单的有线通信入手，以轻松诙谐的语言揭示无线通信与有线通信的传承与区别，为读者学习无线通信提供了一个不错的切入点。接下来全书大量采用类比的方式来讲解无线通信从空口到信令的相关技术知识，从无线侧到交换侧的相关内容。书中所举的例子生动活泼，十分便于读者理解和学习这些知识。

通信类图书通常是专业性较强，理解起来有一定难度。本书的作者别出心裁，以轻松活泼和更贴近读者的方式来阐述无线通信技术，这无疑是一次非常有益的探索。希望本书能为广大学子和从业人员学习无线通信技术知识提供一些帮助，为促进通信行业的人才培养起到一定的作用。

北京邮电大学教授、博士生导师



# 致谢

*Acknowledgement*

在这里首先要特别感谢北京邮电大学张平教授在百忙之中抽出时间为本书作序。

感谢通信人家园 (<http://bbs.c114.net>) 的管理员以及支持我的朋友们，我从未想过一个大话无线通信的帖子能引起这样大的反响和关注。家园朋友们的支持与鼓励成了我最初写此书的动力。读书的时候，我们面对的是生涩的公式和枯燥的理论；工作的时候，我们日复一日地敲击着似曾相识的命令行，触摸着那冷冰冰的机器和板件。作为一个通信人，我们都希望通信可以生动一点，活泼一点，像邻家女孩一样，美丽又亲切；作为一个读者，我们都希望通信的殿堂，不仅有《资治通鉴》，庄严大气，处处透着理性与思辩；也希望有《明朝那些事儿》，轻松幽默，不知不觉间，轻舟已过万重山。一条新的路或许布满荆棘，或许不知所往，这让你有时候会觉得身心俱疲，有时候只感到四顾茫茫，感谢家园的朋友一路相伴，一路地出主意，我才有勇气一路走下去，为了我们共同的期望。

在这里我也要感谢中国联通益阳分公司肖智辉总经理、中国联通湖南分公司王莉经理、熊敏经理现在或曾经给予我的关心和照顾。感激在心，或无以言表，谨在此表示深深的谢意。

感谢中国联通益阳分公司蒋先遵副总经理、廖坚强经理和卜云辉助理在工作中对我的支持与指导。

感谢我的同事和朋友们帮我分担工作压力，给予我鼓励，使得我可以抽出足够的时间和精力来完成本书。

本书要献给我的母亲，多年来她一直有个愿望，那就是希望我可以成为一个作家，去那片她当知青的热土，写一写那里的山水和那个年代的生活。我来到了电信行业，而没有去学中文，成为一个笔下生花的作家，也就没有写出那样的书，不过我仍想把这本书送给她，希望她可以同样喜欢。

作者

# 前言

## PREFACE



作者第一次看到近景魔术表演倒不是来自春晚的刘谦，而是来自4年前的一次文艺汇演。当时那位魔术师神奇得近乎诡异的手法让作者深深为之折服，于是散场之后上前想学两招。魔术师知道作者所从事的职业后掏出手机晃了晃说：“这位朋友，我这个不算神奇，你这个才算神奇呢。想学魔术可以，你能教会我手机与手机之间为什么可以实现通话么？”作者一时间千头万绪，竟不知从何说起，只得作罢，不免稍感遗憾。没想到4年之后，又被新进公司的大学生问到了同样的问题，心中有所感触，于是开始了在通信人家园（<http://bbs.c114.net>）上的连载——“无线通信原理通俗解读”，尽量用诙谐生动的语言来解读无线通信，该帖反响之热烈远远超乎作者的意料，这才有了成书的想法。

的确，通信的专业知识是如此之多，作者看见放在案头几尺高的通信专业书籍都不禁咋舌。而且内容又是如此枯燥，无论是偏向基础理论层面的“信号与系统”、“通信原理”，还是偏向应用层面的“GSM技术”、“WCDMA技术”，要读懂都不是一件容易的事情。通信应该学什么？怎么学？对于刚刚步入通信领域的初学者而言，就像是沙漠里的一只骆驼或者是大海里的一帆孤舟，看着一望无垠的四周，眼睛里除了迷茫还是迷茫。

但凡进入一个全新的领域或者说学习一门新知识，我们要解决的都是两个问题：“What——学什么？”，“How——怎么学？”。“What”从某种意义上说是属于战略范畴的东西，你得选择一个方向，然后朝这个方向一直走下去。而“How”更多的时候像是战术层面的东西，追求的是效率，怎样才能够更高效地理解我们需要学习的东西是非常重要的。

具体到学习无线通信上，我们先来回答“what”的问题。作者认为，对于刚刚接触无线通信技术的人而言，最好能够把一个实际的无线通信系统从基带到射频，从无线侧到交换侧完整通透地学习一遍，这样会对系统形成一个整体的概念，以后再遇到别的通信系统，就能举一反三，触类旁通。在本书中，作者选择的是全球使用最广泛的、最成熟的无线通信系统——GSM系统，然后一步一步剖析这个系统，让大家来了解一个商业无线通信系统的“五脏六腑”。读透了GSM，又何惧TD-SCDMA、WCDMA等技术呢？



对于“**How**”的问题，各人有各人不同的方法。然而实践证明，记忆一个不熟悉的东西，最快捷的方式就是将其类比为**一个熟悉的东西**。对于学习新知识，类比也**同样是最有效的方法之一**。作者在本书中采用了尽量轻松诙谐的语言和大量的类比来帮助读者迅速地建立新旧知识之间的联系。不仅如此，作者在很多章节内容的组织上，并没有采取先摆结论后进行解说的方式，而是和读者一起发现存在的问题，然后一起寻找解决的方案，力争做到让读者知其然也知其所以然。

本书共分为 8 章。第 1 章的目的是为读者提供一个快速了解无线通信的切入点。作者认为学习无线通信的最佳切入点在于比较传统有线通信与无线通信的异同，正是无线通信这些独特的地方衍生了一系列无线通信的理论和应用。第 2 章粗略地介绍了通信系统的构架，以及傅里叶变换和调制等通信基础理论知识。作者认为，只有当你知道语音信号是如何变成比特流，又是通过怎样的方式传送给对方，你才真正理解了通信的本质，才能真正体会通信的“美”，这是单纯地学习工程应用知识所体会不到的。第 3 章介绍的是 GSM 的空中接口技术。空中接口技术被称为无线通信的皇冠上的明珠，各种通信技术标准，如 GSM 和 TD-SCDMA、WCDMA，其根本差别就在空中接口上。第 4 章介绍的是 GSM 网络的组成与结构。本章对整个 GSM 网络从移动台至移动交换中心逐一进行分析，向读者介绍网络的全貌。第 5 章关注的是 GSM 空中接口物理层的设计。空中接口的频谱资源是极其有限的，为了对网络资源和频谱资源进行有效管理，GSM 网络设计了一套极为复杂的信道体系来满足实际应用的需要。第 6 章介绍的是 GSM 的第三层协议。这是一个很复杂也很让人困惑的内容，不过第三层协议在 GSM 网络里有着很重要的地位，也是无线通信技术人员必须掌握的内容。第 7 章采用了“水煮”的方式来介绍七号信令。七号信令在无线通信中有着举足轻重的地位。本章是第 8 章的必要铺垫。第 8 章的主角是 GSM 网络的信令流程。如果把第 6 章和第 7 章的内容比作单词，那么第 8 章就是要把这些单词串起来，形成一篇出色的文章，来指导 GSM 网络的工作。

读者在阅读本书的时候，可尽量沿着“总览—理论—网络—协议”的主线一直往下走，这样可以对无线通信系统形成一个整体的概念。等对整体有一个清晰的了解之后，再结合相关参考文献来了解具体的内容和细节。这样可以尽量避免“只在此山中，云深不知处”的困惑。

由于作者水平有限以及时间仓促，书中错误和不当之处在所难免，敬请广大读者和同行专家批评指正。大家可通过本书编辑的电子邮箱（[liuyang@ptpress.com.cn](mailto:liuyang@ptpress.com.cn)）和我们联系交流。

# 目录

Contents

## 水煮篇

<b>第 1 章 ■ 快速理解无线通信</b>	<b>2</b>
1.1 引言	2
1.2 空中接口和无线信道	2
1.3 无线通信的困惑	3
1.3.1 困惑一：基站如何区分手机	4
1.3.2 困惑二：手机如何找到基站	6
1.3.3 困惑三：基站如何找到手机	7
1.3.4 困惑四：如何识别手机用户的身份	11
1.3.5 困惑五：如何保证对话不被他人窃听	12
1.3.6 困惑六：如何保证“移动”着打电话不会有问题	13
1.4 水煮 GSM——无线通信系统的实现	15
1.4.1 静静的湘水	15
1.4.2 飘荡在夜空的莫尔斯电码	17
1.4.3 胜负手	22

## 基础理论篇

<b>第 2 章 ■ 通信的本质——通信系统概述</b>	<b>28</b>
2.1 狼烟与驿站的故事——漫谈中国古代的通信	28
2.2 画虎画皮先画骨——通信系统构架	31
2.2.1 电话之父——贝尔	31
2.2.2 模拟通信系统架构	33
2.2.3 数字通信系统架构	35
2.2.4 数字通信为何独领风骚	36
2.3 信号的基础知识	37





2.3.1	信号的概念——从狼烟到电磁波	37
2.3.2	信号的时域概念	38
2.3.3	信号的频域概念	40
2.4	信号分析的利器——傅里叶级数和傅里叶分析	42
2.4.1	傅里叶级数与傅里叶分析的由来	43
2.4.2	周期信号的数学表达——傅里叶级数	45
2.4.3	非周期信号的数学阐述——傅里叶分析	47
2.5	模拟信号如何转变为数字信号	49
2.5.1	声音是如何变成比特流的——奈奎斯特采样定理	49
2.5.2	从原始分到标准分——量化	51
2.5.3	从《蒹葭》和《在水一方》说起——也谈编码	54
2.6	这是多此一举吗——也谈调制的意义	59
2.7	信道与信道容量	62
2.7.1	无噪声的完美信道——奈奎斯特带宽	63
2.7.2	有噪声的真实信道——香农容量	63
2.8	无线信道的衰落	64
2.8.1	大尺度效应	64
2.8.2	小尺度效应	65
<b>第3章</b>	<b>■ GSM 空中接口技术</b>	<b>67</b>
3.1	稀缺的无线资源及其复用技术	67
3.1.1	无价的战略资源——空中接口的频率	68
3.1.2	6MHz 联通 VS 29MHz 移动——工作频段分配	69
3.1.3	从大课堂到小课堂——空分复用与蜂窝	71
3.1.4	也谈广电架构与电信架构的异同—— 频分复用与时分复用	73
3.1.5	3G 的基础——码分多址	75
3.1.6	游走在功率与频率之间——载干比与频宽	81
3.2	如何应对无线信道的以下挑战：多径效应及瑞利衰落	83
3.2.1	当老师的艺术——语音编码与信道编码	83



# 目录

## Contents

3.2.2	也论当校长的艺术——分集技术之交织	86
3.2.3	当心和自家的鱼雷亲密接触哦——分集技术之跳频	90
3.2.4	刺刀在前, 刺刀在后——时间提前量 (TA 值)	94
3.2.5	训练序列的由来——时间色散与均衡	97
3.3	如何降低手机的功耗及对系统的干扰	99
3.3.1	请小点声, 再小点声——功率控制	100
3.3.2	无话可说时就请闭嘴——不连续发射 (DTX)	105
3.3.3	老师不点名我就继续睡觉——不连续接收 (DRX)	106

## 实 战 篇

第 4 章	■ 商业蜂窝通信系统的典范——GSM	110
4.1	引言——从实验室通信走向商业通信	110
4.2	GSM 系统的发展历史及技术规范	112
4.2.1	GSM 发展的历史背景	112
4.2.2	GSM 系统的技术规范	114
4.3	GSM 网络组成及接口	115
4.3.1	GSM 网络组成	115
4.3.2	“跑马圈地”与“免费搬迁”——Abis 接口引发的商业策略	117
4.4	移动信息专家——SIM 卡	120
4.5	从电台到基站——也谈手机与 BTS	124
4.5.1	手机与点对点通信	124
4.5.2	劳模 CTU 和它的团队——BTS	130
4.6	计算机与通信的交融——BSC	135
4.6.1	总线的概念	135
4.6.2	BSC 中的总线	138
4.7	交换子系统——MSC、VLR 与 HLR	146
4.7.1	移动交换中心 (MSC)	146
4.7.2	GSM 中的根 DNS——归属位置寄存器 (HLR)	152
4.7.3	GSM 中的本地 DNS——访问位置寄存器 (VLR)	153



4.7.4 GSM 系统的守护神——鉴权中心 (AuC)	153
4.8 这是你的门牌号码——GSM 编号计划	155
<b>第 5 章 ■ 源于频率的困惑——GSM 空中接口</b>	
<b>物理层的设计</b>	164
5.1 TDMA 空中接口技术	165
5.2 铁路的管理艺术——突发脉冲的应用	172
5.2.1 客运火车——业务信道 (TCH)	174
5.2.2 候车厅的大喇叭——FCCH	174
5.2.3 现在是北京时间八点整——SCH	175
5.2.4 “我的地盘，我的业务”——BCCH	176
5.2.5 想上车，请先买票——RACH/AGCH	177
5.2.6 “×××，你的家属在广播室找你”——PCH	178
5.2.7 列车导乘员——SDCCH	178
5.2.8 列车上的服务员——FACCH/SACCH	179
5.3 复帧的应用	180
<b>第 6 章 ■ 无线通信的特质——也谈 GSM 第三层协议</b>	191
6.1 固定通信与移动通信的区别	191
6.2 频率贵如黄金，吾等自应珍惜——无线资源管理 (RRM)	192
6.2.1 好的开始是成功的一半——RRM 的初始化阶段	192
6.2.2 多宽的车走多宽的路——RR 的传输管理	194
6.2.3 跳槽还需细思量——切换的目的及依据	195
6.2.4 炒炒冷饭——功率的控制与时间提前量	196
6.2.5 要唱戏还得先搭台——小区信道的配置与分配	196
6.2.6 念念这本经——RRM 协议	198
6.3 移动性与安全性的博弈——移动性管理 (MM)	209
6.3.1 位置区域的管理	212
6.3.2 也谈 SIM 卡的破解——安全性管理	215
6.4 从路由到计费——接续管理 (CM)	218



# 目录

## Contents

6.4.1	也谈路由的查询——MSISDN 与 MSRN 的索引功能	219
6.4.2	漫游费的由来	220
<b>第 7 章</b>	<b>■ 要把文章写好，先要学好语法——也谈七号信令</b>	<b>224</b>
7.1	信令的基础	225
7.1.1	研究信令的手段——分类	225
7.1.2	从结构形式到控制方式——信令的剖析	227
7.2	从流水线和产业链说起——也谈 OSI 七层模型与七号信令	231
7.3	唐僧开物流公司——也谈 MTP-1 和 MTP-2	235
7.3.1	白龙马的世界级企业梦想——信令数据链路级 MTP-1	236
7.3.2	任劳任怨的沙和尚——信令链路控制级 MTP-2	236
7.4	八戒掌握了物流调度大权——MTP-3	247
7.5	孙悟空重出江湖——SCCP	253
7.6	长袖善舞的太白金星——TCAP	269
<b>第 8 章</b>	<b>■ 妙手著文章——通过信令流程让 GSM 系统运作起来</b>	<b>278</b>
8.1	GSM 的信令与协议	278
8.1.1	接口与协议	278
8.1.2	Um 空中接口&Abis 接口	283
8.1.3	A 接口的协议	292
8.2	手机在通用模式和专用模式下都在干什么	296
8.3	小区选择与重选	298
8.3.1	哪家信号好我选哪家——小区选择	299
8.3.2	功率！功率！还是功率！——C1 算法三要素	304
8.3.3	你信号不好了我就跟你说拜拜——小区重选	306
8.4	随机接入与信道分配	307
8.5	你是谁——鉴权的用途及算法	310
8.6	加密	314



8.6.1	加密原理与流程	314
8.6.2	代号“海狼行动”——TMSI再分配	317
8.7	记得给妈妈打电话报平安——位置更新与IMSI附着	318
8.7.1	位置区的设置	319
8.7.2	位置更新信令流程	320
8.8	让我们来搭积木——MS主叫流程分析	325
8.9	路由，关键就是路由——MS被叫流程	331
8.9.1	被叫的寻址过程	331
8.9.2	被叫接续过程	333
8.10	来试试空中接力——切换原因及流程	334
8.10.1	测量报告的由来	336
8.10.2	切换考虑的因素	338
8.10.3	切换的信令流程	341
8.11	本章小结	346
	参考文献	347

# 水煮篇

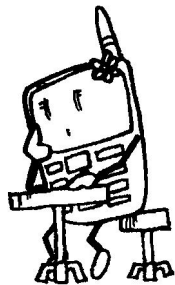
---

茫茫人海，基站如何找到手机？举目四顾，手机如何找到基站？开放的无线电波，如何保障个人的通信安全？信号交叉覆盖，如何实现客户通信的完美切换？无线通信之旅，从固话开始。



# 第 1 章

## Chapter 1



# 快速理解无线通信

## 1.1 引言

如同我们前言中所说的，学习新知识的最好的办法就是拿它与旧知识进行类比，认识一件不熟悉的事物最好的办法就是拿它和熟悉的事物对比。我们在本章里希望通过大量的类比来为读者提供学习无线通信的一个快速切入口，让读者对无线通信系统和运作方式有一个整体的初步认识。

## 1.2 空中接口和无线信道

虽然这两年手机的普及速度异常迅猛，但是提起固定电话，相信大家还是相当亲切，毕竟这是陪伴了我们十几年乃至几十年的通信工具。我们介绍手机之前先介绍固定电话，就是因为固定电话相对手机而言要简单。而且出于保护投资以及互联互通层面的考虑，无线通信的整个体系有很大部分是源于固网的，选择从固网切入便于我们学习。

无线通信和有线通信的区别，说得复杂一点，有很多很多；说得简单一点，其实只有两点：接口和信道。

首先是接口不同，固定电话的接口是钉在墙上的，插一根电话线就可以用，通过这个接口可以和固网进行联系（如图 1.1 所示）；而手机和基站通信的接口是看不见、摸不着的，我们称之为“空中接口”，手机就是通过这个空中接口和无线网络保持联络（如图 1.2 所示）。

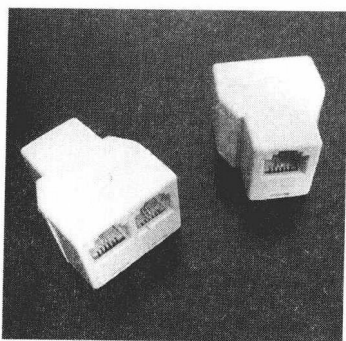


图 1.1 固定电话的接口

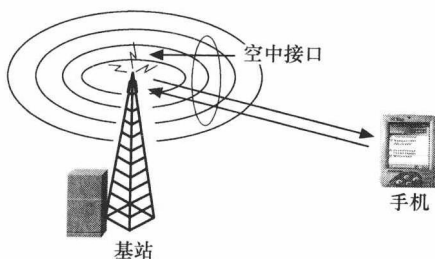


图 1.2 无线通信的空中接口

其次是信道不同，固定电话的信号是通过电话线进行传递的，称之为“有线信道”；手机的信号是通过电磁波在空中传送的，还是看不见、摸不着的，称之为“无线信道”。

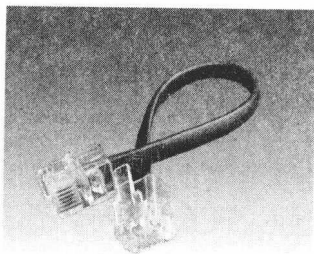


图 1.3 固定电话的电话线

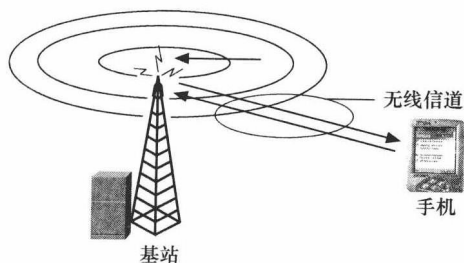


图 1.4 无线信道

可别小看了这两个名词：空中接口与无线信道，翻遍无线通信的史册，几乎没有哪一页与这两个词无关。无线通信所遇到的问题、所取得的成就，无不由这两个名词衍生而来。不夸张地说，读透了空中接口和无线信道，就读透了无线通信。

### 1.3 无线通信的困惑

看起来无线通信与有线通信只有两个区别：空中接口和无线信道，似乎从有线通信过渡到无线通信很简单。然而仅仅是这两个区别就让无线通信陷入了重重困惑之中。

或许有人会不以为然，不就是用空气代替铜线传递信号吗，怎么就会困惑了。那好，我们提出以下几个问题，看看无线通信比有线通信到底复杂在哪里。

问题一：一个墙上的插口通常只能对应一台电话，而基站的一面天线要同时接收很多手机的信号，如何区分哪个信号来自哪个手机？

问题二：固定电话要和网络联系是非常简单的，只需找到电话线的插口插上即可；而手机则要麻烦得多，能让它接入无线网络的基站在哪里，如何才能找到？

问题三：固定电话的位置是固定的，通信网络要找你，把信号送入指定的电话线和指定的接口即可；而无线通信就不同了，手机的位置随时在变化，谁知道手机在哪个基站下面，有电话要找你，怎么才能知道你在哪里，然后找到你呢？

问题四：在固定通信时，确定一个用户的身份是很简单的，电话线就装在你家里，想赖账，门都没有；在无线通信时代，大家都是通过电磁波在空中传送信号，没有实体接口可以确认身份，那么就得有别的办法确认你是不是合法用户，要是让非法用户进入了系统，可没法循着电磁波去找人要钱。

问题五：空中接口的电磁波是开放的，谁都可以拦截到，咱看影视剧没少看到这一幕。咱不想被人窃听，该如何加密呢？

问题六：手机在通话过程中位置会不断变化，通话环境也会随之变化，该怎样才能保证用户通话不中断呢？

## 1.3.1 困惑一：基站如何区分手机

我们知道，在固定电话时代，要识别一路话音信号来自哪台电话是一件很简单的事情，看看它来自墙上的哪个接口，通过哪根电话线送到电话交接箱就可以了，交接箱上的标签写得清清楚楚呢，如图 1.5 所示。

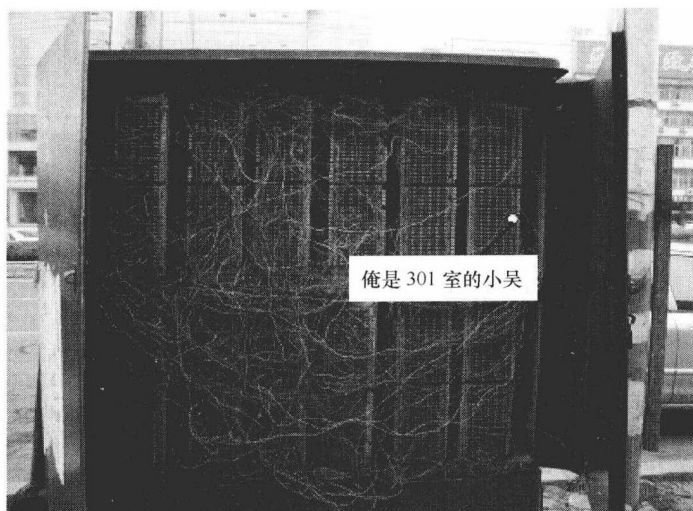


图 1.5 电话交接箱

而无线通信时代就没有这么幸运了，空中接口没有一个实实在在的插口，就是一面