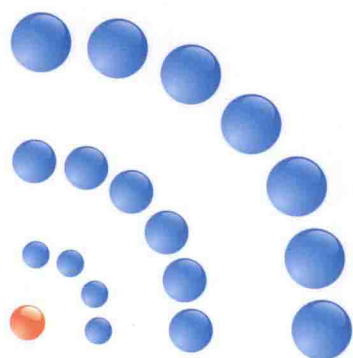


大话

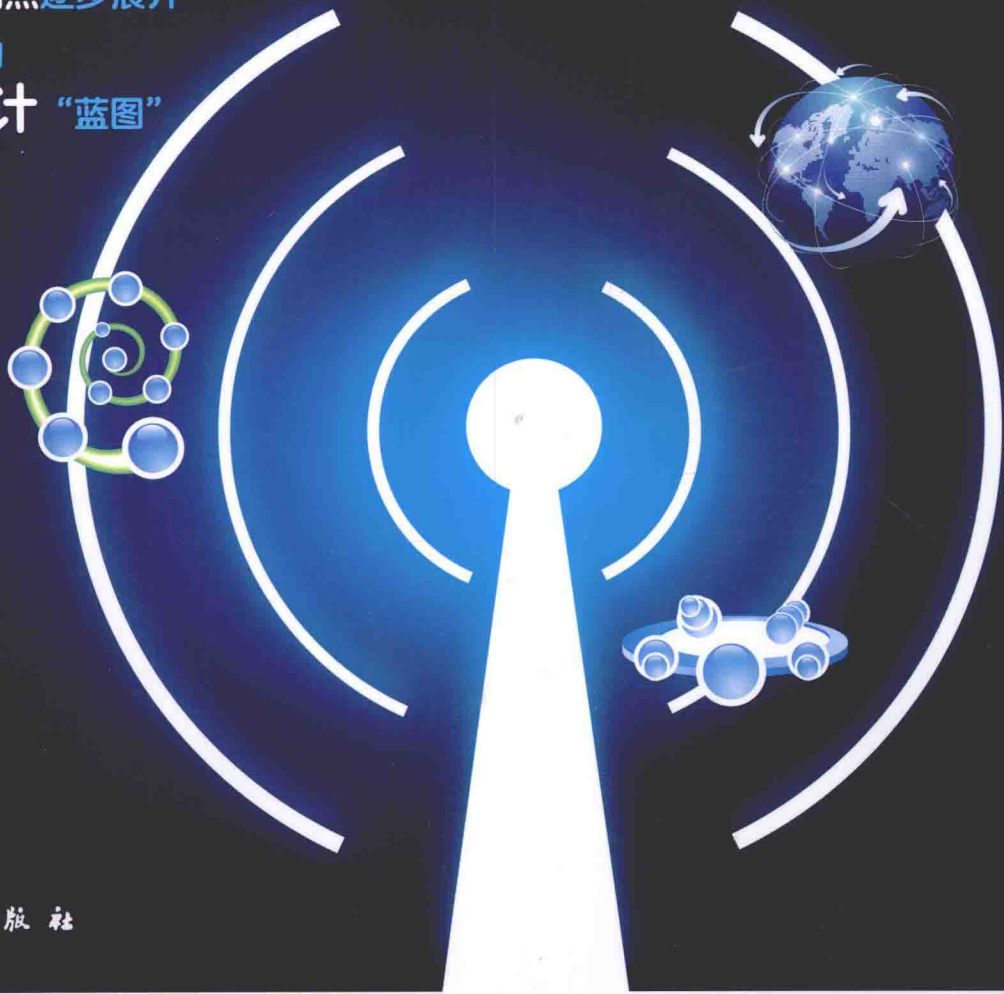


DA HUA
WUXIAN TONGXIN
WANGLUO SHEJI
WANQUAN GONGLUE

无线通信 网络设计完全攻略

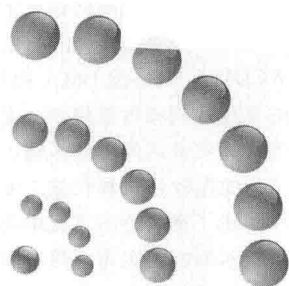
陈华旺 编著

- 以无线网络设计流程为主线
- 沿着工程建设时间点逐步展开
- 勾勒出一幅完整的
无线网络设计“蓝图”



化学工业出版社

大话



DA HUA
WUXIAN TONGXIN
WANGLUO SHEJI
WANQUAN GONGLUE

无线通信 网络设计完全攻略

陈华旺 编著



化学工业出版社

·北京·

本书以无线网络设计的流程为主线，沿着工程建设的时间点逐步展开，详细介绍了无线网络设计的相关知识。其中，基础篇主要介绍了 GSM、CDMA IS-95、CDMA200、WCDMA、TD-SCDMA 和 LTE 网络制式的网络结构、关键技术和网络容量性能，无线网络的覆盖规划和容量规划；实战篇主要介绍了室外宏基站的查勘和设计，包括无线工程的建设流程，宏基站的电源系统，爱立信典型设备的结构、容量和使用原则，宏基站的天线系统，常用做图软件工具和施工图纸绘制注意事项等；最后介绍了室内分布系统的查勘和设计，重点阐述了室内分布工程中常用到的无线设备和覆盖场景分类等。

本书内容实用性强，采用通俗易懂的白话语言和形象生动的类比方式，理论与实践紧密结合，完整地向读者勾勒了一幅无线网络设计的“蓝图”，具有很强的工程指导意义。

本书适合从事无线通信网络设计的工程技术人员、无线基站代维人员和无线工程管理人员阅读使用，也可用作高等院校通信等相关专业师生的教材和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

大话无线通信：网络设计完全攻略/陈华旺编著.

北京：化学工业出版社，2015.10

ISBN 978-7-122-24712-4

I. ①大… II. ①陈… III. ①无线电通信-通信网-安全技术 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 171007 号

责任编辑：要利娜

装帧设计：尹琳琳

责任校对：宋 玮

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 21¼ 字数 524 千字 2015 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：69.00 元

版权所有 违者必究

前言



书到用时方恨少，这大概是初入无线通信设计领域的朋友们最直接的感受了。相对于研发工作而言，无线规划设计更加注重实践。因为这种实践性，我们很难在学校开设的科目中找到有直接指导意义的课程。也许在学校时我们在老师的教鞭下记住了麦克斯韦方程，也懂得了交换机的交换原理，甚至连 GSM 的网络结构也一清二楚，但是在面对图纸设计或者网络规划的时候，还是常常会不知所措。我们在学校里耗费了好几年工夫学到的通信知识在实际工作中到底有没有用？

学《通信原理》有没有用？有用，要不然你怎么知道语音信号是怎么被转换成电流信号的。学《光纤通信》有没有用？有用，否则你怎么知道无线网络中的传输网络结构呢。学《电磁理论》有没有用？很有用，因为无线信号的损耗计算就全依赖它了。读万卷书，行万里路。之所以一开始没看到这些课程的用处，因为我们还没开始走万里路，而经验，要在实践中积累。

行万里路是件苦差。首先我们得找到正确的方向。身边不少同事经常感慨干了通信设计以后没学到东西，路越走越窄，前途迷茫。可笔者要说的是无线设计是一项综合了理论和实践的工作，要说理论，从网络制式的工作原理到网络容量你是否搞清楚了呢？可能有人会问了解这个东西有什么用。我们做网络规划的时候是不是要做容量估算？要不然怎么知道哪个基站配置多少个载波（或者信道）才合理呢。要说实践，无线工程的流程搞清楚了呢？或者从最直接的效果来看，你所出的设计是否已经能做到资源配置合理，绘制图纸毫无差错了呢？当然，这里只是举例说明而已。无线设计工程是一个系统的工程，把这个工程的来龙去脉搞清楚能大大增强我们对无线通信系统的理解，这对我们以后转型管理岗位或者设备商岗位也是大有裨益的。

笔者希望本书能给大家在无线规划设计领域带来一个良好的开端，也希望它能指引大家在该领域一直走下去。

本书的写作以无线基站工程建设的主要流程为主线，从项目的立项开始，到后面的查勘设计出版，沿着工程建设的时间点来逐渐展开。笔者结合生活中的例子来对理论知识进行讲解，也力图避免出现太多公式，让本书尽量通俗易懂。

本书可以分为四个部分。第 1~3 章可归为理论部分的内容介绍。在这 3 章中按照无线通信的发展历程分别介绍了现网中的主流网络制式，包括 GSM、CDMA IS-95、CDMA200、WCDMA、TD-SCDMA 和 LTE。对这 6 种网络制式，重点介绍了它们的网络结构、关键技术和网络容量性能。第 4 章是无线网络规划部分的内容介绍，在这一章里重点讲解了无线网络的覆盖规划和容量规划。第 5~10 章是关于室外宏基站查勘和设计部分的内容介绍，包括无线工程的建设流

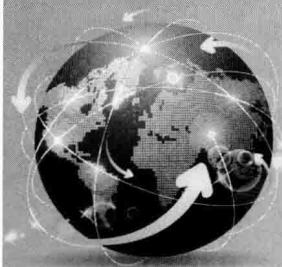
程，宏基站的电源系统，爱立信、华为和中兴三个厂家典型设备的结构、容量和使用原则，宏基站的天线系统，宏基站查勘事宜的总结，以及工程中常用到的软件工具和施工图纸绘制注意事项等内容。第11、第12章则是关于室内分布系统查勘和设计部分的内容介绍，重点阐述了室内分布工程中常遇到的无线设备和覆盖场景分类等内容。

由于各个设计公司都有各自的工作习惯和设计思路，所以书中所举例子和参数仅作为参考。大家在选用时务必注意，不要轻易照抄照搬。

本书在编写过程中得到了广东南方电信规划咨询设计院有限公司无线院副院长蔡衍哲、广东原创通信咨询设计有限公司技术专家王明明、湖南华诺科技有限公司技术专家郑坤权、中国移动设计院广东省分公司技术专家彭岳龙和華為技术有限公司技术专家李学勇等的大力支持和帮助，在此对他们表示衷心的感谢。此外，爱立信（西安）信息通信技术服务有限公司程立文经理、郭威经理、卢小琴、胡洪勋、梁健禧、钟敬元、周志诚、王雷、林吉富、陈森以及劳悦、周天信、唐永裕、周怀杰和卢永建等同事和朋友也为本书做了大量工作。最后，感谢父母、陈华发、陈华达、李慧霞等在生活上给予我的关怀和照顾。

由于笔者水平有限而且时间仓促，所以本书难免存在错漏和疏忽的地方，还请诸位读者和专家批评指正。

编著者



目录

[基础篇]

第 1 章 语音服务——拉开通信时代的序幕

1.1 从零开始——无线通信基础	2
1.1.1 不做大哥好多年——从大哥大说起	2
1.1.2 醉翁之意不在酒——频率调制	4
1.1.3 浮在空中的通信链路——频分多址	6
1.1.4 物尽其用——频率复用技术	8
1.2 曾经的贵族——制霸全球的 GSM	11
1.2.1 棒打鸳鸯——模拟信号离散数字化	11
1.2.2 越切越小的蛋糕块——GSM 帧结构	12
1.2.3 条条大路通罗马——GSM 无线信道	15
1.2.4 基站、载波、小区和载扇	17
1.2.5 层叠的金字塔——GSM 网络结构	17
1.2.6 各司其职——GSM 网元功能介绍	18
1.3 手机上网的开端——GPRS 和 EDGE	22
1.3.1 站在巨人的肩膀——GPRS 网络结构	22
1.3.2 说说 GPRS 和 EDGE 的网速	23

第 2 章 更高更快——数据业务大爆炸

2.1 独行侠——独树一帜的 CDMA	25
2.1.1 CDMA 扩频码——Walsh 码	25
2.1.2 变化的频谱带宽——扩频和解扩	27
2.1.3 关于编码、调制和扩频的讨论	30
2.1.4 CDMA IS-95 进阶——CDMA2000 1X	31
2.1.5 流量为王的 3G 时代——EV-DO 和 EV-DV	34
2.2 王朝的更迭——锋芒毕露的 WCDMA	36

2.2.1	物尽其用——WCDMA 的网络结构	36
2.2.2	变通才有出路——OVSF 码和软切换	37
2.2.3	没有最快, 只有更快——WCDMA 后续演进	38
2.3	大唐的标准梦——TD-SCDMA	40
2.3.1	我本布衣——TD-SCDMA 坎坷成名路	40
2.3.2	拿来主义——TD-SCDMA 网络结构	41
2.3.3	技多不压身——TD-SCDMA 关键技术	41
2.3.4	TD-SCDMA 容量计算	45

第 3 章 分久必合——大一统的 LTE

3.1	LTE 基础知识	48
3.1.1	4G 标准争夺战——早产儿 LTE	48
3.1.2	世界是平的——LTE 网络结构	49
3.1.3	OFDM 正交频分复用技术	50
3.1.4	SC-FDMA 单载波频分复用技术	52
3.1.5	MIMO 多入多出技术	53
3.2	TDD-LTE 容量讨论	55
3.2.1	TDD-LTE 与 FDD-LTE 帧结构	55
3.2.2	TDD-LTE 下行速率估算	57
3.2.3	TDD-LTE 上行速率估算	60
3.3	无线设计基础	62
3.3.1	关于无线信号传播过程	62
3.3.2	关于基站的覆盖半径	63
3.3.3	关于基站覆盖效果定义	70

第 4 章 未雨绸缪——无线网络规划仿真

4.1	无线网络规划仿真概述	73
4.2	无线网络覆盖规划	76
4.2.1	链路预算	76
4.2.2	无线传播模型	78
4.2.3	覆盖预算	81
4.3	无线网络容量规划	83
4.3.1	话务量、话务模型、呼损率、爱尔兰 B 表	83
4.3.2	容量规划流程	84
4.3.3	GSM 网络容量规划	85
4.3.4	3G 网络业务模型	87
4.3.5	3G 业务的话务量分析	89
4.3.6	3G 数据业务话务量统计	91

4.4 无线网络规划仿真	94
4.4.1 主流仿真软件介绍	94
4.4.2 网络仿真步骤	94
4.4.3 网络仿真结果分析	95

[实战篇一——室外宏基站查勘设计]

第5章 建设流程和基站概述

5.1 无规则不成方圆——无线基站建设流程	98
5.1.1 动脑子——立项阶段	99
5.1.2 动手脚——实施阶段	100
5.1.3 数票子——验收投产阶段	102
5.2 宏基站机房概述	102
5.2.1 工欲善其事，必先利其器——查勘必带装备	103
5.2.2 众里寻他千百度——如何定位基站	104
5.2.3 狡兔三窟——种类繁多的机房	106
5.2.4 寸土黄金——宏基站设备简介	110

第6章 宏基站的胃——电源系统

6.1 基站机房中的交流电	113
6.1.1 基站电力来源——市电引入	113
6.1.2 什么是三相四线制？	114
6.1.3 基站市电分类	116
6.1.4 基站内部电力系统结构	116
6.1.5 交流配电箱	116
6.2 电力净化器——直流电源柜	119
6.2.1 交流电为什么要整流	120
6.2.2 直流电源柜内部结构	121
6.2.3 直流整流模块的配置原则	126
6.3 有备无患——备用电池组	127
6.3.1 蓄电池的分类	127
6.3.2 蓄电池的容量配置	130
6.3.3 不间断电源系统（UPS）分类	132
6.3.4 UPS容量配置	136
6.4 大气是一种美德——电力线的选用	137
6.4.1 交流电力线选配	138

6.4.2	直流回路电力线选配	138
6.4.3	接地回路接地线选配	141

第7章 宏基站的大脑——无线主设备

7.1	万变不离其宗——无线主设备概述	144
7.1.1	无线主设备结构简述	144
7.1.2	无线主设备的神经中枢——数字基带处理模块	147
7.1.3	功率有多大，信号就能跑多远——射频信号单元	148
7.1.4	无线主设备的管家婆——电源模块	148
7.2	无线老大——老而弥坚的爱立信	149
7.2.1	爱立信无线主设备概览	150
7.2.2	爱立信 RBS2000 系列	151
7.2.3	功率合成与分配单元进化史	153
7.2.4	爱立信 RBS3000 系列	159
7.2.5	爱立信 RBS6000 系列	160
7.3	从无线到有线——传输网络简介	162
7.3.1	传输网络的结构	163
7.3.2	无线设备带宽配置原则	164
7.3.3	无线基站里的传输设备	165

第8章 宏基站的四肢——天馈系统

8.1	射频信号的搬运工——馈线	168
8.1.1	雁过拔毛——馈线分类与损耗	168
8.1.2	门当，户对——馈线特性阻抗	169
8.1.3	钻出来吧，给你自由——馈线窗的自由哲学	171
8.1.4	俯首甘为孺子牛——走线架	173
8.2	基站桥头堡——室外天线详解	174
8.2.1	万物皆有奇点——电磁波如何产生	174
8.2.2	电磁波的走路方式——天线极化方式	176
8.2.3	鱼与熊掌不可兼得——波瓣宽度与覆盖距离	178
8.2.4	缩小基站覆盖范围——天线下倾角	180
8.2.5	团结就是力量——天线增益	183
8.2.6	限行车道——天线适用频率	184
8.2.7	距离产生美——天线隔离度	187
8.2.8	覆盖好不好，就看方向角——天线的方向角	189
8.2.9	萝卜青菜，各有所爱——天线的主要指标	190
8.3	美化天线和天线杆体	191

8.3.1 披着羊皮的狼——伪装室外美化天线	191
8.3.2 天线也要抱大腿——基站天线杆体	195

第9章 宏基站查勘总结

9.1 共址宏站查勘要点	203
9.1.1 调查才有发言权——基站资源核实	203
9.1.2 有图有真相——共址站查勘拍照要求	204
9.1.3 好记性不如烂笔头——共址站查勘信息记录	207
9.2 新址宏站查勘要点	208
9.2.1 机会只留给有准备的人——新址站施工查勘准备	208
9.2.2 眼观六路，耳听八方——查勘现场信息记录	208
9.2.3 无线专业与土建专业的分工问题	211
9.3 谈谈 MapInfo 和 Google earth 的使用	211
9.3.1 MapInfo 的画纸——MapInfo 的表	212
9.3.2 马良手中的神笔——MapInfo 工具使用	213
9.3.3 叠罗汉之术——MapInfo 文件的层级结构	214
9.3.4 利用 MapInfo 插件 Site See 制作扇区图	216
9.3.5 利用 MapInfo 规划查勘路线	219
9.3.6 利用 Google earth 制作扇区图	221

第10章 宏基站的五官——图纸设计

10.1 CAD 制图介绍	226
10.1.1 施工图纸要素一——线条图形	227
10.1.2 施工图纸要素二——关于标注	232
10.1.3 施工图纸要素三——关于文字	235
10.1.4 CAD 进阶一——关于图层和块	236
10.1.5 CAD 进阶二——设计图纸图框	238
10.2 一锤定音——施工图纸绘制	242
10.2.1 室外宏基站施工图纸构成	243
10.2.2 室外宏基站机房设备布置安装图	243
10.2.3 室外宏基站天面设备安装示意图	245
10.2.4 室外宏基站的线缆配置	246
10.2.5 室外设备的防雷措施	247
10.3 该收工了——竣工结算、出版	250
10.3.1 室外宏基站预算基础	250
10.3.2 关于出版那点儿事儿	252

[实战篇二——室内分布系统设计]

第 11 章 室内分布系统设计基础

11.1 室分系统简介	254
11.1.1 形散神不散——室分系统与宏站系统对比	255
11.1.2 室分系统信源方案	256
11.1.3 室分系统无源器件简介	259
11.2 室分系统无源器件介绍	260
11.2.1 一碗水端平——功分器	260
11.2.2 不患寡而患不均——耦合器	262
11.2.3 殊途同归——合路器和电桥	263
11.3 室分系统天线介绍	266
11.3.1 全方位无死角——吸顶天线	266
11.3.2 面朝房间背靠墙——室内定向板状天线	266
11.3.3 边走边漏——泄露电缆	267
11.3.4 楔形天线——对数周期天线	268
11.3.5 此木非彼木——八木天线	269
11.4 室分系统信号传播模型介绍	270
11.4.1 Keenan-Motley 模型	270
11.4.2 ITU-R_1238-5 传播模型	271
11.4.3 室分系统平层传播模型	272
11.5 室分系统查勘的技巧	273
11.5.1 新建室分系统查勘要点	273
11.5.2 共址室分系统查勘要点	276

第 12 章 室分系统方案设计

12.1 室分系统分场景覆盖策略	278
12.1.1 室分系统的馈线主干线	278
12.1.2 室分系统覆盖典型场景一——车库和商场	279
12.1.3 室分系统覆盖典型场景二——走廊和隧道	282
12.1.4 室分系统覆盖典型场景三——电梯	284
12.1.5 室分系统覆盖典型场景四——商业广场	284
12.1.6 室分系统覆盖典型场景五——城中村	285
12.1.7 室分系统信号的外泄和干扰问题	287
12.2 新建室分系统工程方案设计	288

12.2.1	室分系统安装图纸概述	289
12.2.2	室分系统天线安装图设计	292
12.2.3	室分系统天线原理图设计	293
12.2.4	室分系统信源设备安装图设计	294
12.2.5	室分系统信源设备原理图设计	296
12.2.6	室分系统设计方案材料表和预算表	298
12.2.7	室分系统设计说明文件	298
12.3	信源改造工程方案设计	300
12.3.1	信源改造工程信号合路方式	300
12.3.2	信源改造图纸设计关键点	301

附录一 GSM 仿真报告

附录二 100 个信道爱尔兰 B 表

附录三 Auto CAD 常用快捷命令表

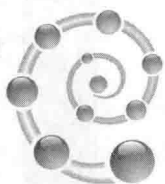
参考文献

在生活中，我们对事情不仅要知其然，更要知其所以然。

做无线设计也一样，也许我们都知道如果某个区域没有信号覆盖，在该区域内新建基站就可以实现信号覆盖；如果某个区域用户过多，那只需要往该区域的基站扩容增加载波就行。但是大家有没有想过为什么增加载波就能给基站扩容？增加的载波又能给系统带来多少的新用户呢？还有，为什么信号强的时候手机上网速率高？为什么 4G 的上网速率又比 2G 快了这么多？

在这里，我们将用三章篇幅把 1G 到 4G 的各种网络制式原理温习一遍。第 1 章重点介绍 2G 语音通信时代；第 2 章关注既能提供语音业务也能提供高速率数据业务的三种 3G 网络制式；第 3 章则介绍最新的 4G LTE 技术。





第 1 章

语音服务——拉开通信时代的序幕

1.1 从零开始——无线通信基础

在这里，我们将从最古老的第一代通信系统 1G 开始，讲讲最基本的无线通信基础内容。

1.1.1 不做大哥好多年——从大哥大说起

说起移动通信，很多人的第一印象应该是大哥大。作为第一代无线通信设备的代表，大哥大在无线通信中的地位确实物如其名。先不说大哥大跟板砖一样的尺寸（当时民间戏称“半头砖”），单是它的价格就已经相当霸气。在当时能用得起大哥大的，绝对是各个行业里的“大哥大”们。据资料显示，大哥大在 1987 年正式进入中国时用户只有 50 多人，彼时大哥大价格高达两万元，黑市的价格被炒到五万多块！按照当时的物价换算，五万块几乎相当于现在的二十万元了。现在的手机别说什么黑莓，就是某水果牌的土豪金在它面前也只有瞻仰的份儿。什么是土豪？当时能用得起大哥大的才是真土豪。

大哥大虽然够显摆，但是它有一个致命的弱点——通话质量差。对于这个问题，倒不是咱们给它乱扣帽子，而是它的先天缺陷所致，因为大哥大用的是第一代通信系统——模拟无线通信系统。那什么是模拟无线通信呢？

众所周知，贝尔最先发明的电话是有线电话，他通过话筒送话器把高低起伏的声音转换成大小变化的电流，然后用电话线把变化电流传送到接收电话的座机那里，接收话筒最后把变化的电流还原为变化的声音，这样就实现了声音的远程传输。有线电话原理图如图 1-1 所示。

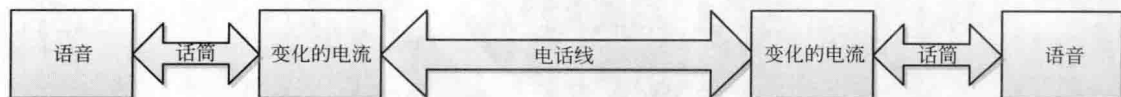


图 1-1 有线电话原理图

如果我们把中间的电话线拿掉，有没有办法把声音从话筒的一端传到另一端呢？也许大家都猜到了，方法是有的，通过电磁波就行。麦克斯韦在 1865 年就已经给出了电磁转换的理论证明，当时人们需要做的不过是找到具体方法来实现电磁的互换而已。经过物理学家们的努力，最后的幸运儿产生了，一名叫做赫兹的物理学家发现当变化的电流通过线圈的时候



会激发出磁场，而变化的磁场又会激发出变化的电场，电场和磁场相互激励，电磁波就产生了。而我们如果想把电磁波发射出去，则只需要把这些带有变化电流的线圈对准一个方向，电磁波就会朝着这个特定的方向发射出去了。如图 1-2 所示。

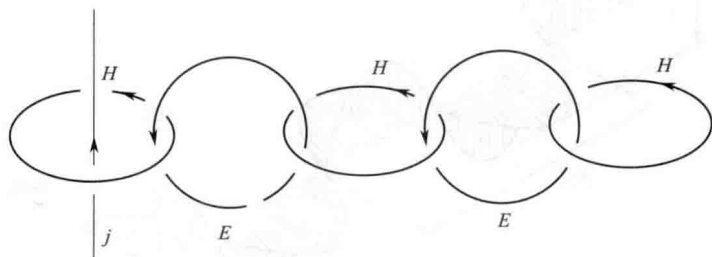


图 1-2 电磁波产生原理图

注：H 为磁场，E 为电场。

为了纪念赫兹对物理学的巨大贡献，后来电磁波的频率单位就以赫兹（Hz）来命名。

既然有线电话从话筒里出来的电流就是变化的，线圈产生电磁波也要求有变化的电流，那是不是让带有声音变化特征的电流通过线圈就可以把声音转换成电磁波发送出去了？从理论上来看确实是可以的。只是我们不能高兴得太早，科学家经过研究发现电磁波有个要命的特点：电磁波信号被发射出去必须满足一个前提条件——发射天线尺寸要跟这个电磁波的波长相近。人声的频率范围是 $300\sim 3400\text{Hz}$ ，那如果直接把声波转换成电磁波，电磁波的波长应该是 $3^5\sim 3^6\text{m}$ ，要把这种波长的电磁波发射出去，需要多长的天线？这个天线最少得有上百万米长。让一个移动电话拖着上百万米长的天线，别说这天线是用一般金属做的，就算你说用纳米材料做的也没办法忍受了，这不是赤裸裸地侮辱科技界人员的智慧吗？所以要实现声音的无线传播，首先得想办法把天线的长度降下来才行。

人声的频率基本没法改变了，也不能指望用户用手机打个电话都把声音扯尖了喊话，更何况人声频率所能提高的幅度也是非常有限的。而且乔布斯说过了，做科技产品的首要原则就是客户需要什么我们就给他们什么。纵观科技的发展历史，从来只有科技产品主动去迎合用户习惯，还没有一款产品能做到让用户反过来去适应产品的，所以问题还得从无线通信技术自身来解决。

既然声音频率无法改变，那就从发射的电磁波频率入手吧，山不过来我们就过去。我们知道，声音是通过话筒转化为电流以后再通过天线转变成电磁波发送出去的，既然这样我们提高发送声音电磁波的频率，问题不就解决了？

学过电磁波原理的朋友都知道，电磁波是具有电场和磁场二象性的，如图 1-3 所示。我们现在只取电场特性来看。从电磁波的形状来看，无线电磁波是一长串上下波动的能量波，严格点来说它是具有幅度值、频率以及相位值这三个外在特征的。

所谓幅度值指的是电磁波的振幅，也就是电磁波的峰值强度。就像海浪，我们在日常生活中会以海浪的高度来形容海浪的形态，例如五米高的海浪，在这里的五米就是海浪的最大幅度值。同样的，电磁波也有它上下浮动的幅度值，在研究中通常取余弦波来作为衡量的基准，余弦波的幅度值最高为 1。

而频率则是指电磁波的变化速度。何谓变化速度？例如在电视中我们经常看到临危病人的心电图隔一秒左右就会有一个尖峰值出现，这两个尖峰值相隔的时间就叫做心电波的周期，假如隔 0.5 秒出现一个尖峰值，那 0.5 秒就是心电波的变化速度。这个变化速度也称为

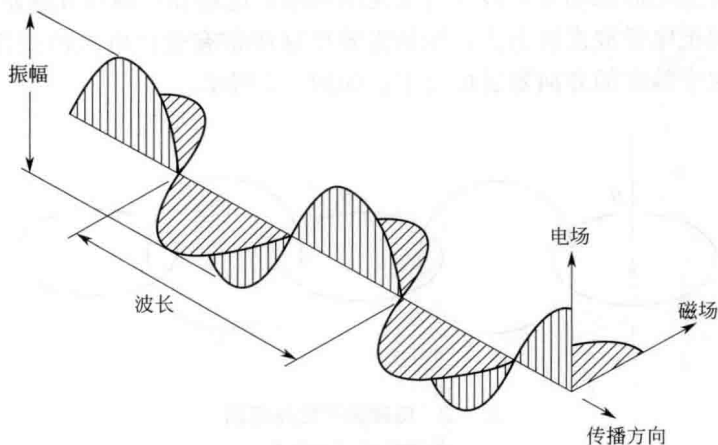


图 1-3 电磁波的电磁二象性

变化周期，周期的倒数就是频率，所以心电图的频率是 $1/0.5=2$ 次/秒。如图 1-4 所示。

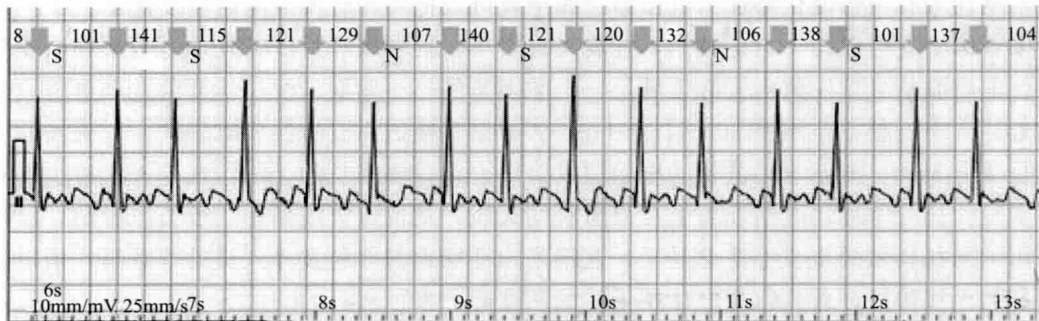


图 1-4 心电图

至于相位值，通俗点理解就是电磁波在某个时刻的位置值，例如经常开车的朋友会有被其他车超过了半个车位之类的说法。在通信行话里，超越的这半个车位就可以理解为相位的超越。就是说本来两辆车应该齐头并进才最和谐，现在有的跑得快，有的跑得慢，队形不一致了，就有了相位差。

说了这么多关于电磁波的内容，回到最初的问题：可不可以找到一种技术来对电磁波频率进行改造呢？答案是可以的。这种对电磁波频率进行改造的技术被称为频率调制技术。相应的，既然有频率调制技术，当然也有幅度调制和相位调制技术了，不过这两项技术不在我们讨论范围内，有兴趣的朋友可以自己找相关技术材料了解。

1.1.2 醉翁之意不在酒——频率调制

为了能把无线信号顺利发射出去，我们需要把发送声音的电磁波频率调高，具体的做法就是通过用一个低频信号去调制一个中频信号，得到一个新的中频信号，这个方法我们称之为频率调制。

举个简单的例子来进行说明：我们把要进行调制的原始基带信号称为本调信号 f_1 （例如从电话话筒流出来的变化电流信号），另外选取一个频率比较高的电流信号作为被调制的信号 f_2 ，我们称之为载波信号（假如选定的信号频率是 450MHz）。那接下来需要用本调信



号 f_1 去调制载波信号 f_2 , 调制的过程其实是本调信号与载波的相乘 (也就是 $f_1 * f_2$, 这里的相乘不是简单的乘数运算, 而是电子电路里面两个信号之间的叠加影响), 这样就可以得到一个由 f_1 和 f_2 混合而成的混血儿信号 f_3 。大家可别小看这个混血儿信号 f_3 , 首先 f_3 是以 f_2 为基础的, 所以 f_3 的频率跟 f_2 的频率相近 (450MHz); 与此同时 f_3 的频率会随着 f_1 的幅值变化而变化, 如果 f_1 的幅值升高, f_3 的频率也随之变大, 当 f_1 的幅值最大时, f_3 的频率也达到最大值; 反之 f_1 的幅值下降, f_3 的频率也随之变小。如图 1-5 所示。

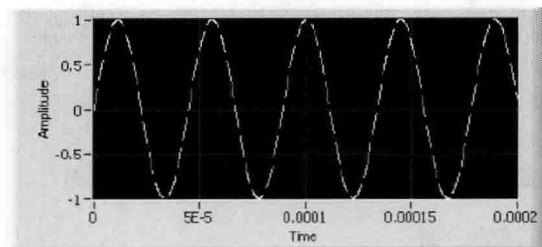
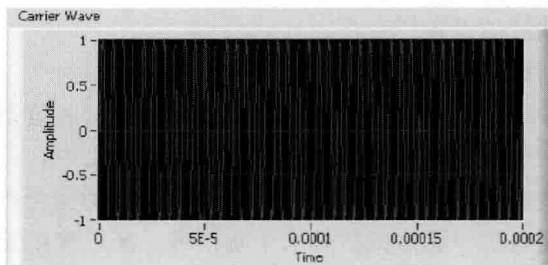
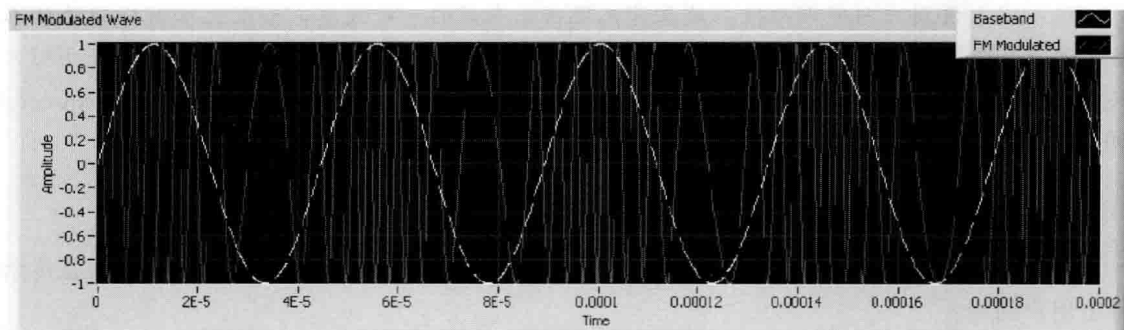
(a) 本调信号 f_1 (b) 载波信号 f_2 (c) 调制后得到信号 f_3

图 1-5 频率调制示意图

经过频率调制以后, 我们只需要把 f_3 在天线端转化为电磁波就能够顺利发射出去了。因为经过调制的信号 f_3 的频率已经达到 450MHz 级别, 这样一来天线长度的困扰自然也就烟消云散了。而电磁波在空中经过一段距离的传播后会在基站的接收端被接收下来并被还原为原电流信号 f_3 , 接收端把附带在 f_3 身上的中频信号 f_2 去掉, 剩下的就只有跟声音相关的信号 f_1 了。以上就是使用了频率调制的第一代通信系统的工作原理, 如图 1-6 所示。

经过抽象后的第一代无线模拟通信系统工作原理图如图 1-7 所示。

说明:

信源: 指发送信息的设备, 可以是电话也可以是基站。