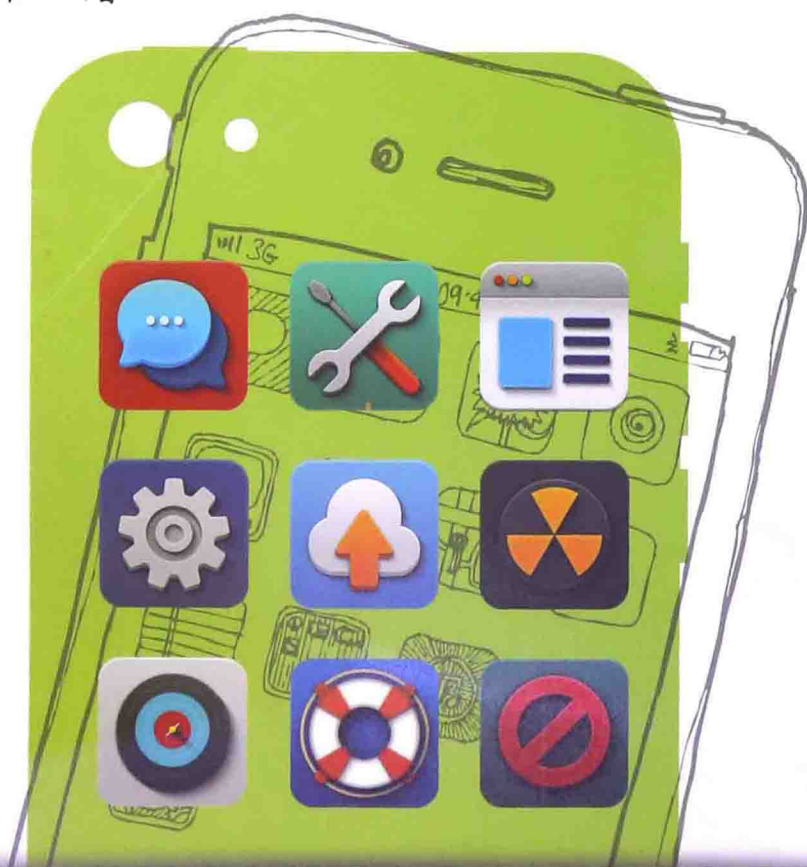


从应用到创新

手机硬件研发与设计

● 陈皓 著



- 国内目前首部详细阐述手机硬件研发与设计的专业书籍
- 基于电子、通信技术理论，用经典实例讲解手机硬件设计原理，解决疑难杂症
- 内容广泛，逐步深入，使工程师知其然更知其所以然



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

从应用到创新

手机硬件研发与设计

陈 皓 著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是国内目前首部详细阐述手机硬件研发与设计的专业书籍。全书由入门篇、提高篇、高级篇和案例分析篇四个部分共23章组成,内容涵盖手机硬件基础知识、PCB与DFX基础知识、电源系统、时钟系统、音频处理、FM接收机、数字调制与解调、ESD防护、色度学与图像处理、信号完整性以及各种相关的国际国内规范。

本书采取从简单到复杂、从功能到性能的原则进行编写。入门篇以功能介绍为主,只定性不定量;提高篇基于各种测试规范,在功能介绍的基础上逐步开展性能分析;高级篇根据电磁学理论、信号处理理论对手机硬件设计进行较为严格的论证并定量计算各种参数指标;而最后的案例分析篇则综合利用前面各篇章所介绍的知识,对实际案例进行分析,从而使读者可以理论联系实践,更快、更好地掌握手机硬件的设计方法,提高故障分析能力。事实上,本书虽以手机硬件为分析对象,但书中所阐述的基本原理同样适用于其他电子、通信产品的设计。

本书可作为硬件研发工程师及电子电气信息类学生的参考书或培训教材,在忽略高级篇部分理论性较强的章节后,亦可作为维修工程师、电子爱好者的参考资料。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

从应用到创新:手机硬件研发与设计/陈皓著. —北京:电子工业出版社,2014.8

ISBN 978-7-121-23857-4

I. ①从… II. ①陈… III. ①移动电话机—硬件—设计 IV. ①TN929.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 166413 号



策划编辑: 窦 昊

责任编辑: 李树林 文字编辑: 窦 昊

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 34.75 字数: 890 千字

版 次: 2014 年 8 月第 1 版

印 次: 2014 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 88.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

当今世界科技发展日新月异，全球信息化浪潮汹涌澎湃，信息技术极大地推进了经济和社会发展，已成为国民经济的重要支柱产业。作为信息技术的重要应用领域，移动通信和互联网技术给人们提供了越来越方便及快速高质量的信息获取与交流手段，而手机作为最重要的移动信息终端，正在不断提高和改变人们的生活质量和生活习惯，成为必不可少的大众化消费产品。

手机的研发和制造涉及许多关键信息技术，如集成电路、操作系统、通信技术、互联网技术、信息处理及智能化技术等。其中既有基础科学技术作为支撑，又有大量工程化技术的实践和应用。目前，智能手机已逐步替代传统手机成为发展趋势，同时也成为重要的信息技术产业的增长点。

作为东南大学信号与信息处理国家重点学科的博士生导师，我指导过不少博士和硕士研究生，一些学生在毕业后也常与我有来往。他们中的大多数现在依然从事信息和通信技术方面的研发与设计工作，但有一个共同的感受，那就是尽管他们在大学学习了大量的数学、物理、电路、信号、通信、计算机、网络等方面的专业课程，尽管他们在各自特定的专业方向都很有成绩，但真正能够在实际工作中综合运用这些知识的人才并不多，更不要说达到举一反三、融会贯通的境界了。

本书作者既有扎实的理论功底，又有很高的工程化研发和应用能力，围绕手机的研发设计，系统地提出设计步骤和方法，为广大读者提供了难得的非常实用的有关手机研发设计的专业指导书。纵览本书，作者将手机硬件设计放置在电路理论、信号理论和电磁理论的框架下讨论，既有技术方面的充分描述，又有科学的理论指导，理论和实践相互交融，相得益彰。尽管这只是一本讲述手机硬件设计的书籍，尽管其分析对象不如交换机、通信网络这般宏大，尽管这本书还可能需要不断完善，但我很欣喜地看到本书的作者，也是我曾经的学生，在这方面做出的努力与尝试。

感谢电子工业出版社窦昊、李树林两位编辑的专业眼光与辛勤劳动，也衷心祝愿我国出版界能够多出一些快速适应工程发展所需，理论和工程实践更好结合的专业书籍，满足不同层次读者的需要。

广州大学校长 邹采荣

2014年8月

前言

有消息报导，截至 2013 年，全球手机用户突破 60 亿大关，而中国拥有大约 11.5 亿手机用户。这是一个极其庞大的数字，也是一个极其庞大的市场！随着国家对信息产业的重视，中国目前已经成为全球第一大手机设计与制造、消费国。在国内，从事手机研发、设计、制造、物流、销售、维修等产业的人员，几乎可以用“多如牛毛”来形容。

但在通信行业有句老话：“一流公司做服务，二流公司做标准，三流公司做产品，四流公司做制造。”所以，尽管我们为全球贡献了绝大多数手机，但产业链的核心却并不由我们掌握。且不说做服务的一流公司、做标准的二流公司，就连做产品的三流公司，似乎都没叫得响的中国品牌。

看看吧，从 1G 时代不可一世的摩托罗拉，到 2G 时代的北欧双雄爱立信与诺基亚，再到 3G 时代几乎滥大街的苹果和三星，它们除了打上了 Made in China 的 Logo 外，跟中国设计有啥关系？

出现如此尴尬的局面，原因肯定是多方面的。但作为一名从事手机硬件研发近十年的工程师，笔者想说的是：手机不仅仅是功能，更是性能！在业内，很多工程师都觉得做手机硬件设计，入门很容易（上海、深圳有众多的 Design House，研发人员水平参差不齐，却似乎个个都能设计手机），但要把硬件做好、做手机赚钱，却是件非常困难的事情。这其中，除了品牌、市场等原因外，手机性能的不足也严重影响了产品的赢利。对于电子爱好者或维修工程师来说，能看懂原理图，知道各模块功能及大致的信号处理流程足矣。但对于手机硬件研发与设计工程师来说，如果还停留在硬件功能分析的水平上，就显得太不专业了。那么，如何将通信、电路理论融入到手机硬件设计中呢？

笔者记得自己在入行之初，一直苦于找不到一本讲述手机硬件设计的优秀教材。工作若干年后，笔者虽然也读了不少参考资料，但总感觉这些资料要么过于简单，基本上是手机电路的介绍，且更多偏向维修；要么内容过于抽象，就像大学教材的翻版，与手机硬件研发具体工作的相关性很小，不实用。于是，笔者萌发了撰写一本有关手机硬件设计方面书籍的冲动。又过了若干年，市场上讲述手机软件设计的书籍越来越多，可讲述硬件设计、符合笔者内心愿想的那本书，却依然是零！于是，在笔者的心底，撰写一本讲述手机硬件设计书籍的愿望更加强烈！

心动不如行动！现在，呈现在各位读者朋友面前的，就是笔者用了整整一年时间才收集、整理、撰写、绘制、校对完成的“产品”——《从应用到创新——手机硬件研发与设计》。

尽管有“王婆卖瓜，自卖自夸”的嫌疑，但笔者还是相当自信：至少在目前来看，这本书是由国内手机研发一线工程师所撰写的同类教材中的唯一一本，无论引用资料、技术背景还是故障分析，均为研发过程中的实际案例，具有很强的理论与实践指导意义，远非一般维修类书籍所能比拟的。通过入门篇、提高篇、高级篇与案例分析篇四个部分，并结合各种国际/国内规范，全书由浅入深地分析了整个手机硬件设计与调试的全过程，涉及移动通信系统分类与架构、PCB 与 DFX 基础知识、手机电源系统、时钟系统、音频信号处理、FM 接收机、

RF 与天线、ESD 防护、色度学与图像处理、信号完整性以及诸如 TTY、HAC 等各种（新）功能。

整体上看，全书难度等级划分大致如下（以电子/电气/通信专业本科四年为参照）：入门篇大约是二年级到三年级水平（也适合普通电子爱好者），提高篇大约是三年级到四年级水平（同时适合维修工程师），高级篇要求四年级到研究生一年级基础课水平（适合基础知识较为扎实的研发工程师）。所以，不同知识层次的读者，对手机硬件设计感兴趣的爱好者或者从业人员，都可以从本书中获得收益，这也是笔者写作此书的最大动力所在。

由于提高篇与高级篇部分章节内容对一些读者来说有一定难度，为了吸引这部分读者的阅读兴趣，本书在文字叙述、插图配表上尽量做到直白、丰富而不失严谨，并在各章节正文中记述了笔者从业多年以来所经历的各种奇闻异事，但为避免不必要的麻烦，正文中会将人名、公司名等真实名称隐去，而以代号表示。在书末附录中，还收录了一篇《苦逼 IT 男的那些事儿》，记录了笔者对自己这些年研发工作的一番自嘲。

另外，为了便于讲授，并与实际操作衔接，对不符合我国国家标准的图形和符号未做改动。在此，特别加以说明。

明张宗子（岱）的《夜航船》有一则故事：

昔有一僧人，与一士子同宿夜航船。士子高谈阔论，僧畏慑，拳足而寝。僧听其语有破绽，乃曰：“请问相公，澹台灭明是一个人、两个人？”士子曰：“是两个人。”僧曰：“这等，尧舜是一个人、两个人？”士子曰：“自然是一个人！”僧乃笑曰：“这等说来，且待小僧伸伸脚。”

笔者每每读书，见前言中必有“限于作者水平，书中不妥或错误之处在所难免，欢迎读者批评指正”之类的话，感觉作者好不啰嗦。如今自己写书，方才感受到：前人诚不我欺焉！所谓言多必失，衷心欢迎各位读者朋友伸伸脚！

最后，笔者要特别感谢自己的太太——汤堃，是她一直在生活上关心我、照顾我，使我可以全身心地投入到工作与写作中！没有她的大力支持，就不会有本书的诞生。笔者还要感谢自己的徒弟李成龙，他提供了部分章节的参考资料，并帮助笔者校对了全部书稿。另外，笔者想对自己的同事兼朋友董行、孙涛、吴凡、王猛、曾锋、曹荣祥、石英锋、马杰、赵彦峰……说一句：“与你们共同工作的日子非常美好！”

陈 皓

2014 年 7 月于南京

目 录

入 门 篇

第 1 章 移动通信发展史及关键技术	2	2.2.13 G Sensor	43
1.1 无线电通信发展史	2	2.2.14 E-compass	44
1.2 移动通信网	3	2.2.15 Light Sensor 与 Proximity Sensor	45
1.2.1 交换子系统 (SSS)	4	2.2.16 Gyro Sensor	47
1.2.2 基站子系统 (BSS)	5	2.2.17 SIM 卡	48
1.2.3 操作维护子系统 (OMS)	5	2.3 手机的电源系统	48
1.2.4 移动电话机 (MS)	5	2.3.1 系统电源与外设电源	49
1.3 多址接入	6	2.3.2 电源的分类	50
1.3.1 频分多址 (FDMA)	6	2.4 手机中的常用接口	51
1.3.2 时分多址 (TDMA)	7	2.4.1 总线型接口	51
1.3.3 码分多址 (CDMA)	7	2.4.2 非总线型接口	52
1.4 编码与数字调制	11	2.5 手机中的关键信号	53
1.4.1 语音编码	11	2.5.1 Acoustic 信号	53
1.4.2 信道编码	13	2.5.2 I/Q 信号	57
1.4.3 数字调制	14	2.5.3 Clock 信号	57
1.5 我国移动通信发展史	15	2.6 天线	59
第 2 章 手机电路系统组成	17	2.6.1 天线的分类	59
2.1 手机的基本架构	17	2.6.2 天线指标	60
2.2 手机基本组件	19	2.6.3 天线趋势	62
2.2.1 CPU 与 PMU	19	第 3 章 分立元件与 PCB 基础知识	63
2.2.2 Memory	21	3.1 电阻、电容与电感	63
2.2.3 Transceiver	24	3.1.1 电阻	63
2.2.4 RF PA	26	3.1.2 电容	64
2.2.5 天线电路	28	3.1.3 电感	69
2.2.6 LCD	30	3.2 晶体管与场效应管	73
2.2.7 Acoustic	33	3.2.1 晶体管	73
2.2.8 键盘与触摸屏	35	3.2.2 场效应管	75
2.2.9 蓝牙	37	3.3 PCB 基础知识	75
2.2.10 FM Radio Receiver	39	3.3.1 PCB 的常规术语	76
2.2.11 Wi-Fi	40	3.3.2 PCB 的电气性能	78
2.2.12 GPS	41		

3.3.3	特殊 PCB	79	4.3	Designs for SMT	84
3.3.4	手机 PCB 的层面分布	79	4.3.1	防呆标志	84
第 4 章	DFX 基础	82	4.3.2	焊盘设计	84
4.1	DFX 的基本概念	82	4.3.3	金边粘锡	85
4.2	Designs for Structure	82	4.3.4	AOI 与 X-Ray	87
4.2.1	系统架构	83	4.4	Designs for Assembly	89
4.2.2	器件选型	83	4.5	Designs for Repair	89
4.2.3	原理图设计	83	4.6	对降成本的思考	90
4.2.4	调试方案	84	4.7	一些 DFX 案例	92

提 高 篇

第 5 章	电源系统与设计	96	6.3	手机电路中的振荡器	135
5.1	线性电源与开关电源	96	6.4	时钟精度	137
5.1.1	线性电源	96	6.4.1	Q 值的影响	137
5.1.2	开关电源	99	6.4.2	准确度与稳定度	141
5.2	LDO 与 DC-DC 的优缺点	101	6.4.3	相位噪声的影响	143
5.2.1	电压大小	102	6.5	锁相环简介	143
5.2.2	电源纹波	102	6.6	晶体校准案例一则	145
5.2.3	电源效率	105	6.6.1	故障现象	145
5.3	其他形式的电源	106	6.6.2	登网注册流程	145
5.4	充电设计	107	6.6.3	故障分析	146
5.4.1	充电状态转移图	107	第 7 章	语音通话的性能指标	148
5.4.2	充电电路	109	7.1	国际规范	148
5.4.3	充电判满	111	7.2	3GPP 的音频测试	149
5.5	案例分析	112	7.3	响度评定原理	156
5.6	电源分配与布线	114	7.4	测试系统	157
5.7	小结	114	7.4.1	测试系统组成	157
第 6 章	时钟系统	115	7.4.2	人工耳与人工嘴	158
6.1	手机时钟系统简介	115	7.5	高通平台调试	161
6.1.1	时钟分类	115	7.5.1	调试准备工作	161
6.1.2	时钟的基本作用	116	7.5.2	语音链路	162
6.1.3	振荡原理	117	7.5.3	TDD Noise 与 RF Power	165
6.1.4	小结	121	7.6	MTK 平台的语音链路	165
6.2	常见振荡电路	122	7.7	频响调整	166
6.2.1	RC 振荡电路	122	7.7.1	滤波器分类	166
6.2.2	LC 振荡电路	126	7.7.2	FIR 滤波器与 IIR 滤波器	167
6.2.3	晶体振荡电路	132	7.7.3	线性相位	167

7.7.4	幅度响应	168	9.1.3	近零中频接收机	203
7.7.5	高通与 MTK 的选择	169	9.2	发信机架构	204
7.8	其他模块	170	9.2.1	发射上变频架构	204
7.9	主观测试	170	9.2.2	直接变换架构	206
7.10	手机音频中的声学设计	171	9.2.3	偏移锁相环架构	207
7.11	轶事一则	174	9.3	数字调制与解调	209
第 8 章	FM 立体声接收机	176	9.3.1	数字与模拟	209
8.1	调制与解调	176	9.3.2	GMSK 调制	210
8.1.1	调制与解调的概念	176	9.3.3	QPSK 调制	214
8.1.2	调制的必要性	177	9.3.4	恒包络与非恒包络	216
8.2	频率调制 (FM)	178	9.4	射频功放	220
8.2.1	FM 的数学表达式	178	9.4.1	GSM 功放的近似分析	220
8.2.2	FM 的特点	179	9.4.2	C 类功放的特性	223
8.2.3	我国 FM 的规定	180	9.4.3	极化调制 PA	229
8.3	立体声	181	9.4.4	WCDMA Linear PA	232
8.3.1	立体声的原理	181	第 10 章	常规 RF 性能指标	233
8.3.2	调频立体声	183	10.1	测试规范	233
8.3.3	我国的调频立体声广播	185	10.2	RF 基础知识	233
8.3.4	预加重与去加重	185	10.2.1	频段划分	233
8.3.5	RDS 广播	186	10.2.2	常见物理单位	235
8.4	FM 立体声接收	187	10.2.3	常见指标	236
8.5	FM 立体声接收机芯片	190	10.3	GSM 手机 RF 测试	246
8.6	FM 立体声接收机的性能指标	191	10.3.1	发射机指标	246
8.6.1	信噪比 (S/N)	191	10.3.2	接收机指标	254
8.6.2	接收灵敏度 (Sensitivity)	191	10.4	其他 RF 指标	259
8.6.3	总谐波失真 (THD)	192	10.4.1	发射指标	259
8.6.4	邻道选择 (Adjacent Channel Selectivity)	192	10.4.2	接收指标	266
8.6.5	立体声分离度 (Stereo Separation)	192	第 11 章	ESD 防护	268
8.6.6	调幅抑制制度 (AM Suppression)	195	11.1	ESD 的原理	268
8.6.7	其他指标	195	11.2	ESD 的模型	268
8.7	案例分析	196	11.2.1	人体模型 (Human Body Model)	268
第 9 章	通信电路与调制解调	200	11.2.2	机器模型 (Machine Model)	269
9.1	收信机架构	200	11.2.3	带电器件模型 (Charged Device Model)	269
9.1.1	超外差接收机	200	11.3	人体模型充放电原理	269
9.1.2	零中频接收机	202	11.3.1	人体充电	270
			11.3.2	人体放电	271

11.3.3	多次放电	272
11.4	静电的影响	273
11.5	ESD 设计原则	274
11.5.1	软件防护设计	274
11.5.2	硬件防护设计	275
11.6	手机的 ESD 测试	280
11.6.1	我国标准	280

11.6.2	测试模型与环境	280
11.6.3	结果判定	282
11.7	案例一则	283
11.7.1	产品基本状况	283
11.7.2	定位静电导入点	284
11.7.3	整改方案	284
11.7.4	小结	287

高 级 篇

第 12 章	高级音频设计	290
12.1	音频信号处理滤波器	290
12.2	关于 FIR 滤波器与 IIR 滤波器	291
12.3	FIR 滤波器	292
12.3.1	FIR 滤波器的定义	292
12.3.2	FIR 滤波器窗口设计法	292
12.3.3	FIR 滤波器频率采样法	292
12.3.4	小结	293
12.4	IIR 滤波器	294
12.4.1	IIR 滤波器的定义	294
12.4.2	Yule-Walker 方程	294
12.5	量化误差与有限字长效应	296
12.5.1	量化误差	296
12.5.2	有限字长效应	297
12.5.3	零/极点波动	297
12.6	随机过程通过线性系统	299
12.6.1	Rayleigh 商	299
12.6.2	输入、输出信噪比	301
12.6.3	Wiener 滤波器	301
12.6.4	Wiener 滤波器的应用	303
12.7	自适应滤波器	304
12.7.1	最陡下降法	304
12.7.2	LMS 算法	305
12.8	噪声抑制与回声抵消	307
12.8.1	Single Microphone 降噪	307
12.8.2	回声抑制的原理	309
12.8.3	Far-end 消噪	311
12.8.4	其他模式下的 Dual Microphone 降噪	312

12.9	高级音频指标	313
12.9.1	T-MOS	313
12.9.2	G-MOS	314
12.9.3	Double Talk	315
12.9.4	Echo Attenuation vs. Time	317
12.9.5	Spectral Echo Attenuation	318
12.9.6	BGNT	318
12.10	小结	320

第 13 章	相机的高级设计	321
13.1	色度学	321
13.1.1	光学的预备知识	322
13.1.2	颜色的确切含意	322
13.1.3	颜色三要素	323
13.1.4	三原色及三补色	324
13.1.5	格拉斯曼定理与 CIE 的颜色表示系统	325
13.2	颜色模型	327
13.2.1	RGB 模型	327
13.2.2	CMY 模型	327
13.2.3	YUV 模型	328
13.2.4	HSI 模型	328
13.3	白平衡与色温	329
13.3.1	白平衡	329
13.3.2	色温	330
13.3.3	白平衡的定义	330
13.3.4	人眼的自动白平衡与相机白平衡	331
13.3.5	Gamma 校正	331
13.4	人的视觉特性	332

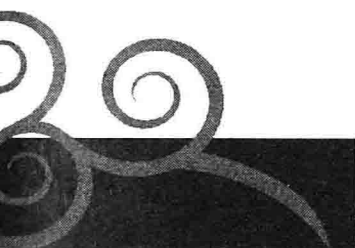
13.4.1	人眼构造	332	14.2.3	传输线模型	371
13.4.2	人眼的视觉成像	332	14.2.4	手机中的传输线	379
13.4.3	人眼的亮度感觉	333	14.3	反射与端接	380
13.4.4	人眼亮度感觉与图像处理	335	14.3.1	反射的机理	380
13.5	图像处理	336	14.3.2	反射图	383
13.6	图像增强	338	14.3.3	容性反射与时延累加	385
13.6.1	灰度变换	338	14.3.4	走线中间的容性反射	387
13.6.2	直方图修正	339	14.3.5	感性反射	388
13.6.3	图像平滑与锐化	340	14.3.6	端接策略	391
13.7	图像恢复	345	14.4	有损传输线	392
13.7.1	退化模型	345	14.4.1	损耗源	392
13.7.2	线性运动退化	346	14.4.2	导线损耗	393
13.7.3	图像的无约束恢复	347	14.4.3	介质损耗	394
13.7.4	图像的有约束恢复	347	14.4.4	有损线建模	396
13.8	手机相机的测试	348	14.4.5	眼图	398
13.8.1	色彩还原性 (Color Reproduction Quality)	348	14.5	传输线的串扰	402
13.8.2	鬼影炫光 (Ghost Flare)	349	14.5.1	串扰模型	402
13.8.3	成像均匀性 (Shading)	349	14.5.2	容性耦合与感性耦合	404
13.8.4	分辨率 (Resolution)	350	14.5.3	近端串扰与远端串扰	406
13.8.5	成像畸变 (Distortion)	350	14.5.4	差分阻抗与共模阻抗	410
13.8.6	自动白平衡 (Auto White Balance)	351	14.5.5	奇模传输与偶模传输	412
13.8.7	灰阶 (Gray Scale)	351	14.5.6	差分对的端接	415
13.8.8	视场角	352	14.6	眼图案例一则	415
13.8.9	曝光误差 (Exposure Error)	353	14.6.1	案例背景	415
13.8.10	信噪比	353	14.6.2	USB 2.0 眼图简介	416
13.9	调制转移函数	353	14.6.3	不同容值 TVS 管对眼图的影响	417
13.10	两个案例	357	14.6.4	小结	419
13.10.1	LCD 反色	357	第 15 章	各种新功能	420
13.10.2	四基色电视	359	15.1	HAC	420
第 14 章	信号完整性	360	15.1.1	HAC 的概念	420
14.1	信号完整性概述	360	15.1.2	助听器的工作模型	420
14.1.1	信号完整性的意义	360	15.1.3	两种耦合的优缺点	422
14.1.2	手机设计中的信号完整性	361	15.1.4	HAC 评级	423
14.2	高频模型	364	15.1.5	M 评级	423
14.2.1	频谱与带宽	364	15.1.6	T 评级	425
14.2.2	阻容感模型	368	15.1.7	HAC 认证常见问题	427
			15.2	TTY/TDD	428

15.2.1	TTY/TDD 的定义	428	15.3.1	无线充电的概念	434
15.2.2	TTY 终端	429	15.3.2	无线充电的方式	434
15.2.3	TTY 呼叫系统	431	15.3.3	无线充电的效能指标	440
15.2.4	TTY 设备工作模式	434	15.3.4	无线充电的标准	442
15.2.5	TTY 测试	434	15.3.5	对无线充电的疑问	444
15.3	无线充电	434	15.3.6	小结	445

案例分析篇

第 16 章	ADC 与电池温度监测	448	17.5	小结	472
16.1	ADC 的重要性	448	17.6	FFT 在音频设计中的应用	473
16.2	A/D 的基本原理	449	17.6.1	Audio PA Noise Analysis	473
16.2.1	模拟与数字	449	17.6.2	Good Speaker or Bad Speaker	474
16.2.2	A/D 的分类	450	第 18 章	UXX 的 TDD Noise	477
16.2.3	逐次逼近型 A/D 的原理	450	18.1	项目背景	477
16.2.4	逐次逼近型 A/D 的量化 误差	451	18.2	故障现象	477
16.2.5	量化处理	452	18.3	实验测试	479
16.2.6	$\Sigma\Delta$ 型 A/D	453	18.4	定位噪声引入点	480
16.3	电池温度监测电路	455	18.5	案例反思	482
16.4	误差分析	457	第 19 章	EN55020 案例一则	483
16.4.1	NTC 电阻离散性导致 的误差	458	19.1	EN55020 测试环境	483
16.4.2	A/D 转换导致的误差	458	19.2	实测结果	484
16.4.3	电路拓扑导致的误差	460	19.3	测试结果分析	486
16.4.4	多项式插值导致的误差	461	19.3.1	干扰信号采用 FM 方式	486
16.5	系统总误差	462	19.3.2	干扰信号采用 AM 方式	487
16.6	实际测试结果	463	19.3.3	故障优化	487
第 17 章	Receiver 的低频爆震	464	19.4	充电器与充电线的影响	488
17.1	项目背景	464	第 20 章	Acoustic 调试中值得关注 的几个现象	490
17.2	故障现象	464	20.1	磁钢与主板 TDD Noise	490
17.3	调试过程	465	20.2	Receiver 的啸叫	490
17.3.1	检查 Receiver 的 SPL 与 THD	465	20.3	波浪状的频响曲线	491
17.3.2	调整 Receiver 的功率	465	20.4	切换模式后的 Echo Loss Fail	492
17.3.3	调整 RFR 的低频部分	466	20.5	按压电池盖导致 RCV 响度 下降	493
17.3.4	Receiver 的工作高度	466	第 21 章	工厂端音频自动检测方案	495
17.3.5	Receiver 厂家的测试过程	467	21.1	目前现状	495
17.4	FFT 测试	468			

21.2	检测原理	496	22.2.1	信号测量	504
21.3	方案步骤	497	22.2.2	原因分析	505
21.4	Loudness、Resonance/Echo 及 TDMA Noise 判定	498	22.3	深层思索	507
21.4.1	Loudness、Resonance/Echo 判定	498	第 23 章	GPS 受扰案例一则	509
21.4.2	TDMA Noise 判定	498	23.1	故障定位	509
21.5	确定门限	499	23.2	故障解决	512
21.5.1	SPL_STD_Criteria 及 RES_STD_Criteria 的门限	499	23.2.1	定位干扰源	512
21.5.2	测试距离	500	23.2.2	解决思路	513
21.6	性能分析	501	23.2.3	原理分析	513
21.6.1	频谱分辨力	501	23.2.4	优化结果	517
21.6.2	误判率	501	23.2.5	Sorting 方案	519
21.6.3	鲁棒性	502	23.3	小结	520
第 22 章	开机自动进入测试模式	503	附录 A	几何光学成像	521
22.1	故障状态	503	附录 B	立体声原理	525
22.2	故障分析	504	附录 C	苦逼 IT 男的那些事儿	537
			参考文献		542



入 门 篇

【摘要】 本篇主要介绍移动通信的发展历史及关键技术，手机电路的组织架构与基本原理，分立元件与 PCB，可生产性等方面的知识，大部分内容仅仅做功能分析，只定性不定量，满足入门者的需要。

移动通信发展史及关键技术

随着移动通信技术的迅速发展，手机已经渗透到人们生活的方方面面。过去，我们仅仅用手机打电话，然后用手机收发短信、玩游戏、拍照片，再后来用手机导航、上网、下载视频等。如今，我们可以在诸如商场、车站、饭店等公共场所看到许许多多低头摆弄手机的年轻人，那专注的眼神，那痴迷的情感，恐怕也只有恋人之间的深情凝望才能够形容。

既然手机有如此大的魔力，那么手机以及移动通信系统到底是如何演进发展的呢？这便是本章的目的。

1.1 无线电通信发展史

1820 年，丹麦物理学家奥斯特（Oersted, 1777—1851）发现了电流使小磁针偏转的现象，提出了电流的磁效应。（从小到大，笔者只知道三个丹麦人：安徒生、奥斯特、波尔。）

1820—1821 年、法国物理学家安培（Ampere, 1775—1836）、阿拉果（Arago, 1786—1853）、萨伐尔（Savart, 1791—1841）通过一系列实验与理论，陆续揭示了电与磁之间的联系。（一群法国人，吃饱了撑的。）

1827 年，德国物理学家欧姆（Ohm, 1787—1854）发现了著名的欧姆定律，并提出了电流与电阻这两个术语。（据说，他早先只是个中学物理教师。）

1831 年，英国物理学家法拉第（Faraday, 1791—1867）首次通过实验证实了电磁感应现象，创造性地提出了“力线”的概念，陆续建立了电学与磁学的基本理论，标志着人类开始真正认识电磁现象。（工匠出身，心灵手巧的典型代表。）

1864 年，英国物理学家麦克斯韦（Maxwell, 1831—1879）提出了著名的麦克斯韦电磁场方程组，通过四个积分/微分方程、三个物质本构方程、两个边界条件，概括了一切宏观电磁现象，将法拉第的“力线”概念推广到“场”概念，预言了电磁波的存在并断言光也是一种电磁波，开启了人类认识电磁现象的新纪元。（历史有时就是这样巧合！法拉第提出电磁感应原理的那一年，麦克斯韦诞生了；伽利略去世的那一年，牛顿落地了。）

1888 年，德国物理学家赫兹（Heinrich Rudolf Hertz, 1857—1894）首先用实验证实了电磁波的存在，为人类产生、利用电磁波提供了可能。（可惜，比麦克斯韦还短命。）

1897 年，意大利电气工程师马可尼（Guglielmo Marchese Marconi, 1874—1937）在陆地与一艘轮船之间进行了世界上首次无线电消息传输，成为移动通信的开端。到 1901 年，马可尼在英国与纽芬兰之间（3540 km），成功完成了跨大西洋的无线电通信，使得无线电真正进入实用阶段。（这位老兄在 1909 年获得诺贝尔物理学奖，后来“一战”时总管意军所有电台。）

1904年,英国电气工程师弗莱明(J. Fleming)发明了世界上第一只电子管,也就是人们所说的真空二极管。(笔者用过的唯一一种真空二极管是北京电子管厂生产的6Z4小功率整流管。)

1906年,美国电气工程师德·福雷斯特(D. Forest)改进了弗莱明的二极管,发明了世界上第一支真空三极管,标志着放大电路的粉墨登场。(听说过6N11和6P1吗?做甲类小胆机不错。)

1906年圣诞节,美国物理学家费森登(Fessenden, 1866—1932)成功实现了世界上首次无线电广播,并提出了现已广为人知的无线电调制解调原理。自此,人类进入大规模应用无线电通信的时代。(笔者真的对这位老大不熟悉。)

1947年,美国贝尔实验室的威廉·肖克雷(William Shockley)、约翰·巴丁(John Bardeen)和沃特·布拉顿(Walter Brattain)发明了世界上第一支晶体管,人类终于进入半导体时代。(获诺贝尔奖,当之无愧。)

1948—1949年,美国数学家、信息论的创始人克劳德·埃尔伍德·香农(Claude Elwood Shannon, 1916—2001)陆续发表了两篇著名的论文:《通信的数学原理》(“The Mathematical Theory of Communication”)与《保密系统的通信原理》(“Communication Theory of Secrecy Systems”)。在论文中,香农首次提出了用熵来度量信息量,给出其数学表达式,解决了信道容量、信源统计特性、信源编码、信道编码等一系列基本技术问题,由此成为信息论的奠基性著作。(就是这个家伙把保密通信从艺术降级为科学。)

1949年,美国数学家、控制论奠基人,诺伯特·维纳(Norbert Wiener, 1894—1964)研究了如何从噪声观测中最优地估计源信号的设计问题,提出了著名的维纳滤波,并由此发展出一系列自适应滤波器理论,已被广泛应用在移动通信、雷达、声呐、系统辨识等领域。(笔者读研究生那会儿,被他那套玩意折腾得够呛。)

1958年,美国德州仪器公司的工程师基尔比(Kilby, 1923—2005)发明了世界上第一块集成电路芯片,从而使电子技术的发展进入到一个全盛时期。2000年,基尔比被授予诺贝尔物理学奖,评审委员会对其评价极其简单:“为现代信息技术奠定了基础”。(歌功颂德只需一句话足矣。)

1973年4月,美国摩托罗拉公司工程师马丁·库帕(Martin Lawrence Cooper, 1928—)发明世界上第一部民用手机,体积为22 cm×12 cm×4.4 cm,重达1.2 kg,而通话时长仅35分钟。从今天的角度看,这种手机实在是过于笨重,但它毕竟是划时代的产品。因此,马丁·库帕也被誉为现代手机之父。(不过,这位手机之父无法接受滥大街的iPhone。)

1991年7月,诺基亚制造并展示了全球第一台GSM制式的移动电话,从此人们正式进入大规模移动通信时代。(2G时代的枭雄,到如今却是裁员的裁员,出售的出售,令人唏嘘。)

从1820年奥斯特发现“电生磁”,1831年法拉第发现“磁生电”,经麦克斯韦、赫兹、马可尼、弗莱明、香农、基尔比等杰出人物以及大量科技人员的辛勤努力,历经150余年时间,移动通信所需要的电磁场理论、信息处理理论、半导体技术全部构建完成,移动通信正式步入大规模应用阶段。

1.2 移动通信网

一般而言,手机、对讲机、电台、广播、电视等所有基于无线电通信的系统都属于移动通信,但手机与广播或者电台的点对点通信有着显著区别。如果不加入网络,没有运营商的网络支持,手机用户之间是无法实现通信的。

所以，基于手机的移动通信系统必须要进行组网，如图 1-2-1 所示。

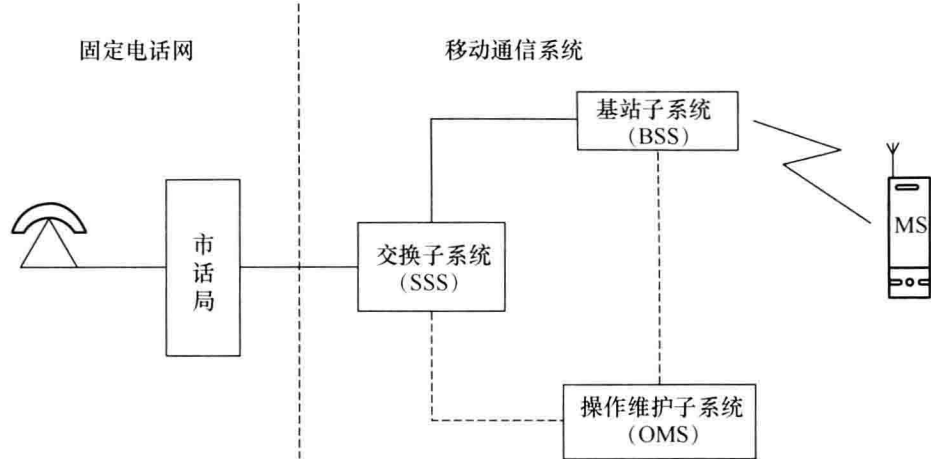


图 1-2-1 移动通信网路组成框图

1.2.1 交换子系统（SSS）

交换子系统负责整个通信系统的运行、管理，它可以在任意两个用户（或者信道）之间建立或者释放一条通信链路。在移动通信系统中，交换子系统包括移动交换中心 MSC、访问位置寄存器 VLR、归属位置寄存器 HLR、设备号识别寄存器 EIR、鉴权中心 AUC 等。

交换系统可以看成是一个移动交换分局，其核心部分为移动交换中心 MSC。

1. 移动交换中心（MSC）

MSC 是一个由计算机控制的全自动移动系统，它与基站之间通过光纤进行通信，一个 MSC 可以管理数十个基站，并组成局域网。MSC 还可以与其他网络连接，如公用电话交换网 (PSTN)、综合业务数字网 (ISDN) 等。每个 MSC 都有一个访问位置寄存器 (VLR)，以及归属位置寄存器 (HLR)、设备号识别寄存器 (EIR)、鉴权中心 (AUC)。

MSC 可以支持各种呼叫业务，如：

- (1) 本地、长途及国际呼叫。
- (2) 通过 MSC 进行手机用户与市话、长途之间的呼叫，控制不同蜂窝小区运营。
- (3) 支持手机的跨区切换、漫游、登网和计费。

2. 访问位置寄存器（VLR）

访问位置寄存器 (VLR) 是一个存储来访用户（又称为“拜访客户”）信息的数据库。手机的不断移动导致其位置信息不断变化，这种变化的位置信息就在 VLR 中进行登记。

如手机原先处于 A 小区，后来漫游至 B 小区。于是，手机必须向 B 小区的 VLR 申请登记。VLR 得到申请后，则去 HLR 查找相关信息，然后给该手机分配一个新的漫游号，并通知 HLR 修改该手机的位置信息，以方便其他手机呼叫此用户时提供路由信息。由此可见，移动状态下的手机在 VLR 中进进出出，VLR 中所记录的位置信息处于随时更新状态。

所以，VLR 是一个动态寄存器。

3. 归属位置寄存器（HLR）

HLR 用于存储本地用户位置信息。当用户购买手机后第一次使用 SIM 卡加入移动网络，