

移动蜂窝通信 模拟和数字系统

(第二版)

Mobile Cellular Telecommunications
Analog and Digital Systems, Second Edition

[美] William C. Y. Lee (李建业) 著
尹浩 李卫东 王诚国 郑岚 郑岩 译
郑祖辉 审校



McGraw-Hill

电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

Mobile Cellular Telecommunications
Analog and Digital Systems (Second Edition)

移动蜂窝通信

模拟和数字系统

(第二版)

[美] William C. Y. Lee (李建业) 著
尹浩 李卫东 王诚国 郑岚 郑岩 译
郑祖辉 审校

电子工业出版社

内 容 简 介

本书是国际享有盛誉的移动通信专家 William C. Y. Lee (李建业) 的一部很有影响的移动通信新著。

全书共分 18 章。第一、二章介绍蜂窝通信领域中的关键概念；第三章描述蜂窝通信系统的性能指标；第四章介绍点对点模式；第五、六、七章讲述同信道及非同信道干扰问题；第八章到第十三章给出改善系统性能的方法；第十四章阐述数字系统及其许多关键性问题；第十五章描述新发展的数字蜂窝系统；第十六章介绍智能小区概念以及如何利用它增加容量和改进系统性能；第十七章讲述高级智能网络以及用于未来无线信息高速公路的宽带交换；第十八章介绍与蜂窝系统有关的一些专题。

本书对我国从事移动通信的领导、管理人员，尤其是技术人员在研究开发移动蜂窝通信的技术和系统产业的创新等方面都会有巨大的影响，有相当高的参考价值。



Copyright ©1995, 1989 by McGraw-Hill, Inc. All rights reserved.
本书获得 McGraw-Hill 正式授权，在中国大陆内翻译发行，但不得另行授权予他人或其它地区发行。未经许可，不得以任何形式和手段复制或抄袭本书内容。

Mobile Cellular Telecommunications

Analog and Digital Systems

Second Edition

[美] William C. Y. Lee (李建业) 著

McGraw-Hill, Inc. 1995 年出版

*

移动蜂窝通信

模拟和数字系统

(第二版)

尹浩 李卫东 王诚国 郑岚 郑岩 译

郑祖辉 审校

责任编辑 路 石 特邀编辑 王子恢

*

电子工业出版社出版 (北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

保定市印刷发行公司印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 27.5 字数: 704 千字

1996 年 3 月第一版 1996 年 3 月第一次印刷

印数: 5000 册 定价: 48.00 元

ISBN 7-5053-3351-8/TN · 921

著作权合同登记号图字: 01-1995-405

校译者前言

本书的作者 Willian C. Y. Lee (李建业) 是在国际享有盛誉的移动通信专家, 他已出版了数本很有影响的移动通信著作。本书出版的目的、作用及读者对象等均在作者的第一、二版说明中阐述, 在此不再赘述。这本著作对我国从事移动通信的领导、管理人员尤其是技术人员在研究开发蜂窝移动通信的技术和系统产业的创新等方面都会有巨大的影响, 因此有相当的参考价值。

本书的第一、二版说明、感谢、目录及第一、二章由郑岩译, 第三、四章由郑岚译, 第五、六、七、八、九章由王诚国译, 第十、十一、十二、十三、十四章由尹浩译, 第十五、十六、十七章由李卫东译, 第十八章由郑祖辉译。尹浩和李卫东对个别章节作过初校, 其它均由郑祖辉校。全书由郑祖辉进行总审校定稿。由于时间很紧, 故书中难免有不少错误, 敬请读者见谅。

校译者

1995 年 7 月

感 谢

我要衷心地感谢在过去 6 年中曾参加过由 George Washington 大学主办的一些由我讲授的研讨会的所有工程师们，他们为本书提供了许多有益的思路。

我仍然并将经常牢记 C. C. Cutler 和 Frank Blecher 在我的发展历程中各个时期给我的许多有益的建议和鼓励。Bell 实验室和 ITT 在系统开发过程中也为我提供了许多研究移动蜂窝系统的机会。PacTel 蜂窝公司和蜂窝电信工业协会在系统完成阶段也给我提供了许多信息。我要感谢在这两个阶段与我一起合作的所有同事们。尤其是，我要感谢 Phil Quigley 和 Gloria Everett，是他们两位使我加入了 PacTel 蜂窝公司并从事蜂窝技术的研究。

我深深地感谢 Ella Saunders 女士，她帮助我打印这份书稿，还要感谢 George McClure，他耐心地校对本书并提供了许多宝贵的建议。

这是我在闲瑕时间所写的第三本书。当然我曾尽力说服我的家人，尤其我亲爱的妻子，这是一本对蜂窝事业十分重要的书。尽管他们不很相信，但他们仍全力支持我写这本书。因此我非常感谢我妻子 Margaret 和我们的两个女儿，Batty 和 Lily。

本书的第一版是在 1989 年首次发行的。在过去五年中，无线电通信领域变化得非常快，所以有许多新资料在本书中出现。在本书的修订过程中，AirTouch 的图书管理员，Maribeth Eisenmann 女士热心地为此书搜集了许多信息资料，Susan Shaffer 女士十分耐心认真地打印并校对了原有的一些章中新增加的各节的内容和三章新的内容。

1994 年 10 月，我在荷兰的 Haag 参加 PIMRC 会议时，里面装着一些必须重写书稿的公文包在火车站被窃了，幸运的是许多材料已备份了一份，所以没有耽误出版日期。

最后，我要感谢我的家人尤其是我妻子 Margaret 在我撰写第二版过程中对于我的理解，还要感谢所有的读者对我这本书的支持。

William C. Y. Lee (李建业)

第二版说明

自从《Mobile Cellular Telecommunications Systems》一书于1989年最近一次出版后,许多读者写信给我并给我许多鼓励和建议。在过去五年中,无线电通信领域进展迅猛,许多新的概念和新系统都开发出来了。McGraw-Hill的Chapman先生让我修订此书,我立刻接受了他的建议。由于工业的迅速发展,许多工程人员正从军事工业中加盟到这个领域中来,许多刚从学校毕业的工程人员也加入到这个领域中来,他们需要尽快了解这个领域。还有那些准备进入这个领域的工程人员,他们只可能在一个特定的小区域中工作,但想拓宽他们的知识面。因此,当我修订这本书时,我想针对他们的需求。除了在现有的某些章中加入一些新的节,例如近场传播的计算、无线信息高速公路、呼叫阻塞和呼叫中断等,我还新增了三章:第十五章数字蜂窝系统,描述新发展的数字系统,对GSM、北美TDMA和CDMA这三种主要系统作了详细的叙述。其它系统,如DECT、PDC、PHS、MIRS、CD2、CDPD、DCS-1800及PCS等也包括在内。在第十六章中的智能小区概念和应用中,介绍了智能的意义是为了增加容量和改进系统性能。在第十七章中,介绍了高级智能网络(AIN),还讲述了用于未来无线信息高速公路的宽带交换。

将来,智能将应用于蜂窝的小区站、网络和系统中,这三种用于蜂窝的思路也将同样应用于PCS中。

我希望本书能拓宽读者的思路。无线信息高速公路是我们未来的目标,我们还有很长的路要走。

William C. Y. Lee (李建业)

第一版说明

随着蜂窝用户数的增加，系统实际的积累干扰也会增加。这意味着许多大蜂窝系统迟早都必须处理干扰问题。这是一个已成熟而需研究的、十分有用的领域，并很快会应用于比较先进的场合。

这本内容广泛而又完整的由十五章组成的著作，是在一个新的通信领域——蜂窝通信中以支持进一步探索的一本基础课本。鉴于这本书在这个领域中是领先的，所以可以把它当作一本手册或作为进一步研究的标准基础。

许多年来我一直想写一部关于蜂窝系统的技术书，由于它是一个新的领域，因此必须研究开发相应的理论并通过实践去验证。我力图遵循研究的发展过程，即我在《美国名人录》中已阐述过的几点：

1. 利用数学来解决问题。
2. 利用物理来分析结果。
3. 利用实验和反例来检验数据。
4. 利用图片来突出重点。

由于我的脑海中已积累了许多概念，我想把它们分享给我的读者们。在这个领域中，许多新的应用和理论已被发现，因此我的发现将会帮助读者消化吸收这些新知识，并可缩短学习时间，这样就可以避免过去设计蜂窝系统时所犯的错误。工作在其它通信系统的工程人员将会理解用于蜂窝系统的种种概念。读者应认识到，不正确地使用各种理论可能会造成许多严重的后果。我希望听到读者有关他们在蜂窝系统上成功的或不成功的经验。

总之，我是为那些技术工程人员写这本书的，他们很想在蜂窝产业研究出新的方案。但第一章和第二章是写给管理人员的，为的是让他们熟悉这个领域中的关键概念。第三章描述了蜂窝系统的性能指标。北美性能指标适用于加拿大、美国、墨西哥，因此蜂窝电话在这些地域内的任何地方都可使用，因为，采用的都是标准的技术指标。

第四章介绍了我在过去 15 年中开发出的点对点模式，它可作为开发许多设计工具的核心。第五章和第六章论述了同信道干扰问题。第七章述及非同信道干扰问题。第八到第十三章为工程人员详细提供了有关改善系统性能的解决方法。第十四章阐述了可能成为下一代蜂窝系统的数字系统，并提醒读者进行进一步开发的许多关键性问题。第十五章概述了各种各样与蜂窝系统有关的专题。

我未发表过的许多论点都包含在这十五章中，我期待得到读者的反馈，以便在第二版中更好地满足你们的需求。

我常常认为，蜂窝技术应该公开地为蜂窝操作人员共享，竞争只在饱和的市场中存在，而蜂窝市场几乎是无限的，因此在蜂窝产业的早期阶段不应出现竞争，我们应该让更多的感兴趣的工程人员和研究人员参与进来，尽可能地加快蜂窝产业的发展。

在过去 6 年中，我曾在 George Washington 大学主办的研讨会上讲授过三天课。我正设法使蜂窝产业界确信，如果我们存有狭隘的思想态度而不与别人分享我们的经验和知识，整个产业将不会快速发展，反而会被其它产业（例如无线通信或在建筑物内的通信）所取代。

让我们携起手来，使蜂窝产业发挥它最大的潜力。我们的目标是，终有一天口袋式蜂窝电话把我们的呼叫带到世界的每一个角落。

William C. Y. Lee (李建业)

目 录

第一章 蜂窝移动通信系统导论	(1)
1.1 为什么使用蜂窝移动电话系统	(1)
1.2 800MHz 频谱分配的历史	(3)
1.3 中继效率	(4)
1.4 基本的蜂窝系统	(5)
1.5 性能指标	(6)
1.6 移动无线电环境的特殊性	(7)
1.7 蜂窝系统的操作.....	(17)
1.8 六角形小区的市场印象.....	(18)
1.9 蜂窝系统的规划.....	(18)
1.10 模拟蜂窝系统	(19)
1.11 数字蜂窝系统	(22)
第二章 蜂窝移动无线电系统设计要素	(37)
2.1 概述.....	(37)
2.2 频率复用信道的概念.....	(39)
2.3 同信道干扰衰减因子.....	(41)
2.4 全向天线系统中正常情况下所需的 C/I	(43)
2.5 切换机制.....	(45)
2.6 小区分裂.....	(46)
2.7 蜂窝系统组成的考虑.....	(47)
第三章 模拟系统的特性	(49)
3.1 名词定义及功能.....	(49)
3.2 美国移动台(单元)的特性 ^[1~3]	(50)
3.3 地面台规范(美国) ^[1~3]	(58)
3.4 世界模拟蜂窝系统的不同规范.....	(65)
第四章 小区的信号覆盖和业务量	(69)
4.1 概述.....	(69)
4.2 获得点到点移动台模型(Lee 模型)	(71)
4.3 在水面或平坦开阔地上的传播.....	(79)
4.4 植被损耗.....	(82)
4.5 近距离传播.....	(84)
4.6 远距离传播.....	(86)
4.7 从点到点的预测模型得到路径损耗——一种常用方法 ^[21, 24]	(86)
4.8 点到点模型的形成.....	(93)
4.9 点到点预测的计算机生成.....	(94)
4.10 小区基站天线高度及信号覆盖小区	(97)

4.11 移动台到移动台的传播 ^[44]	(98)
第五章 小区基站天线和移动台天线	(106)
5.1 天线等效电路	(106)
5.2 增益和辐射图的关系	(108)
5.3 和差辐射图——设计天线辐射图	(110)
5.4 小区基站的天线	(114)
5.5 小区基站天线的独特状况	(119)
5.6 移动台天线	(121)
第六章 降低同信道干扰	(128)
6.1 同信道干扰	(128)
6.2 系统中同信道干扰区域探索	(128)
6.3 在移动无线电收发信机处实时测量同信道干扰	(130)
6.4 最坏情况下全向天线系统的设计	(131)
6.5 定向天线系统设计	(133)
6.6 降低天线高度	(136)
6.7 用在倾斜式天线上开槽的方法降低同信道干扰	(137)
6.8 伞形方向图的作用	(141)
6.9 无源振子的使用	(142)
6.10 功率控制	(143)
6.11 分集接收机	(144)
6.12 为在有同信道干扰的预测区域设计一个系统	(146)
第七章 非同信道干扰的类型	(149)
7.1 主观测试与客观测试	(149)
7.2 邻近信道干扰	(151)
7.3 近端-远端干扰	(152)
7.4 近端移动台的影响	(154)
7.5 串话——话音信道的独特性能	(156)
7.6 降低功率、天线高度和波束倾斜对覆盖范围与干扰的影响	(157)
7.7 小区基站组成部分的作用	(162)
7.8 系统间干扰	(165)
7.9 UHF TV 干扰	(167)
7.10 远距离干扰	(169)
第八章 频率管理和信道分配	(171)
8.1 频率管理	(171)
8.2 频谱利用	(172)
8.3 建立信道	(173)
8.4 信道分配的定义	(176)
8.5 固定信道分配	(178)
8.6 非固定信道分配算法 ^[4~9]	(180)
8.7 如何运用新增的频谱	(183)
8.8 业务量和信道分配	(185)

8.9	来自用户的呼叫阻塞的识别	(185)
第九章	切换和中断呼叫	(187)
9.1	实施切换的意义	(187)
9.2	切换的起始	(189)
9.3	延缓切换	(190)
9.4	强制切换	(191)
9.5	切换的排队	(192)
9.6	功率差切换	(195)
9.7	移动台辅助切换(MAHO)和软切换	(195)
9.8	仅基站切换	(195)
9.9	系统内切换	(196)
9.10	中断呼叫率的介绍	(197)
9.11	中断呼叫率的公式	(198)
9.12	求 δ 和 μ 值	(200)
第十章	操作技术	(203)
10.1	系统参数的调整	(203)
10.2	覆盖盲区填充器	(205)
10.3	泄漏馈线	(209)
10.4	小区分裂	(213)
10.5	小小区(微小区)	(215)
10.6	窄波束的概念	(219)
10.7	沿公路的小区基站之间的间隔	(221)
10.8	低密度小市场的出现	(222)
第十一章	交换与话务量	(225)
11.1	概述	(225)
11.2	蜂窝模拟交换设备	(229)
11.3	蜂窝数字交换设备	(230)
11.4	话务处理的特性	(233)
11.5	MTSO 间互连	(235)
11.6	小交换系统 ^[11~13]	(236)
11.7	系统的增强	(237)
第十二章	数据链路和微波	(238)
12.1	数据链路	(238)
12.2	微波链路的可用频率	(239)
12.3	微波链路的设计和分集要求	(239)
12.4	射线弯曲现象 ^[4]	(242)
12.5	系统可靠性	(243)
12.6	微波天线 ^[8]	(246)
第十三章	系统评价	(250)
13.1	性能评价	(250)
13.2	信令评价	(254)

13.3	平均接收电平的测量和电平交叉	(258)
13.4	频谱效率评价 ^[10]	(263)
13.5	便携式电台	(272)
13.6	数据调制解调器的评价	(276)
第十四章	数字系统入门	(280)
14.1	为什么要数字化	(280)
14.2	数字技术介绍	(282)
14.3	ARQ 技术	(289)
14.4	数字话音 ^[6]	(293)
14.5	数字蜂窝电话	(296)
14.6	实际多路接入(多址)方法	(298)
第十五章	数字蜂窝系统	(304)
15.1	全球移动系统(GSM) ^[1~5]	(304)
15.2	北美的 TDMA 系统 ^[6~8]	(318)
15.3	CDMA ^[10~12]	(329)
15.4	其它移动系统	(350)
第十六章	智能小区的概念及应用	(374)
16.1	智能小区的概念	(374)
16.2	智能微小区系统的应用 ^[17,18]	(387)
16.3	建筑物内的通信	(393)
16.4	CDMA 蜂窝无线电通信网络	(398)
第十七章	无线通信智能网络	(408)
17.1	高级智能网(AIN) ^[1~3]	(408)
17.2	用于 AIN 的 SS7 网和 ISDN	(410)
17.3	用于移动通信的 AIN	(412)
17.4	异步转移模式(ATM)技术 ^[13~22]	(414)
17.5	一种智能型系统:未来公共陆上移动通信系统(FPLMTS) ^[23,24]	(416)
17.6	无线信息高速公路	(416)
第十八章	与蜂窝有关的课题	(421)
18.1	60GHz 蜂窝系统的研究	(421)
18.2	蜂窝固定站	(423)
18.3	农村服务区域的蜂窝系统 ^[4]	(424)
18.4	用毫米波链路和光波链路的分集媒介系统	(425)
18.5	蜂窝无线电通信的系统间操作 ^[13]	(428)

第一章 蜂窝移动通信系统导论

1.1 为什么使用蜂窝移动电话系统

1.1.1 常规移动电话系统的局限

开发并在许多城市中使用蜂窝移动电话系统的众多原因之一是，由于常规移动电话系统存在着这样一些局限性：有限的服务容量；服务性能差；频谱利用率低。

有限的服务容量 一般在设计一个常规移动电话系统时，都是从给定的频率配置中选取一个或多个信道，以服务于某个特定独立的地理区域，见图 1.1。通常在该区域里的通信覆盖范围都设计得尽可能大，这意味着发射功率也应在联邦规定的允许范围内尽可能高。在某个区域里开始通话的用户进入一个新区域时（图 1.1），因为他的呼叫丢失了，因此必须重新发起呼叫。由于不能保证在没有频率切换能力下的每一次呼叫都能顺利完成，故这样的系统是不能令人满意的。

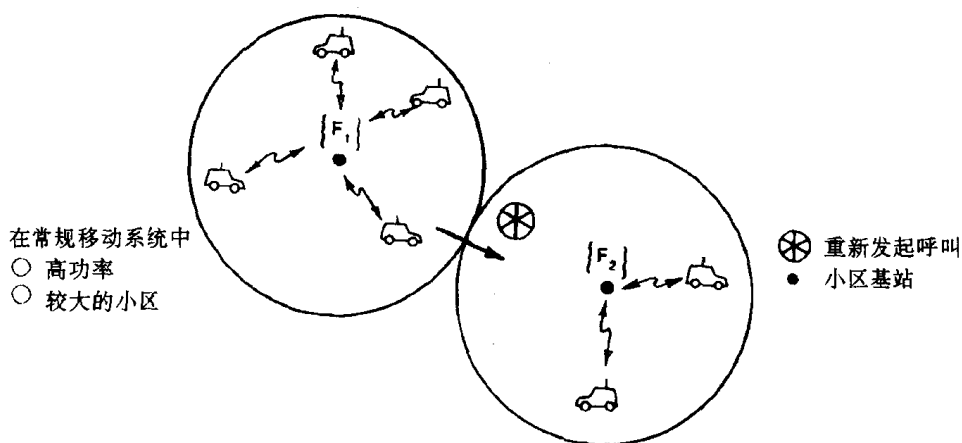


图 1.1 常规移动通信系统

切换是指移动台运动到不同频率区域时自动转换频率的过程，因此进入一个新的频率区域时，不必再次拨号就能继续通话。常规移动电话系统的另一个缺点是，某个区域内同时工作的用户数目不能超过该区域内配置的信道数。

服务性能差 过去，总共有 33 个信道分配给三个移动电话系统：移动电话服务系统 (MTS)、改进的移动电话服务 (IMTS) MJ 系统和改进的移动电话服务 (IMTS) MK 系统。MTS 工作在 40MHz 频段，MJ 工作在 150MHz 频段，它们都提供 11 个信道。MK 系统工作在 450MHz，并提供 12 个信道。这 33 个信道必须覆盖直径为 50 英里的区域。1976 年，纽约市使用 MJ 系统，有 6 个信道为 320 个用户服务，而另外 2400 个用户处于申请等待中。纽约市还使用 MK 系统，有 6 个信道服务 255 个用户，另外的 1300 个用户也处于申请等待中。在通信忙时，用户太多将带来高的阻塞概率，实际阻塞数将在后面给出。尽管服务质量不尽人

意,但实际要求却居高不下,因此必须有一个大容量的移动电话系统。

频谱利用率低 在常规的移动电话系统中,频谱利用率的测度 M_0 定义为:在通信忙时一个信道服务的最大用户数。式 (1.1-1) 给出了纽约市 1976 年早期引用的数据:

$$M_0 = \frac{\text{用户数}}{\text{信道}} \quad (\text{常规系统}) \quad (1.1-1)$$

或

$$M_0 = \begin{cases} 53 \text{ 个用户/信道} & (\text{MJ 系统}) \\ 37 \text{ 个用户/信道} & (\text{MK 系统}) \end{cases}$$

假设一次呼叫的平均通话时间为 1.76 分钟,应用爱尔兰 (Erlang) B 模型 (丢失-呼叫-清除条件),计算阻塞概率如下:使用 6 个信道,每个信道服务于式 (1.1-1) 中数目不等的两组用户,则可由式 (1.1-2) 得到提供的负荷:

$$A = \frac{\text{平均通话时间 (分钟)} \times \text{总用户数}}{60 \text{ 分钟}} \quad \text{爱尔兰} \quad (1.1-2)$$

$$A_1 = \frac{1.76 \times 53 \times 6}{60} = 9.33 \quad \text{爱尔兰} \quad (\text{MJ 系统})$$

$$A_2 = \frac{1.76 \times 37 \times 6}{60} = 6.51 \quad \text{爱尔兰} \quad (\text{MK 系统})$$

在给定信道数为 6,话务负荷为 $A_1=9.33$, $A_2=6.51$ 的情况下,从附录 1.1 的表中查到阻塞概率分别为 $B_1=50\%$ (MJ 系统), $B_2=30\%$ (MK 系统)。这意味着在 MJ 系统中,有可能一半的初始呼叫被阻塞了,这是一个相当高的阻塞概率。

如果平均通话时间在 1.76 分钟以上,则阻塞概率还会增大。为了减少阻塞概率,必须降低式 (1.1-1) 中频谱利用率测度 M_0 的值。

就考虑频谱的利用而言,常规系统没能有效地利用频率资源,因为在整个服务区内,每个信道一次只能为一个用户服务,而新的蜂窝系统以一种不同于式 (1.1-1) 的方式使用频谱,在 1.1.2 节的讨论中将证明这是高效的。

1.1.2 频谱效率考虑

无线电通信产业面临的主要问题是,可使用的无线电频谱有限。在分配政策中,联邦通信委员会 (FCC) 寻求一种需要带宽最小,却能高效利用、满足用户需求的系统。

一个理想的移动电话系统应工作在一个有限的工作频段上,却能为几乎无限的用户在无限的地区提供服务。达到这种理想状态的三个主要途径为:

1. **单边带 (SSB)** 它把给定的频段划分成最多的信道数。
2. **蜂窝** 它在不同的地理区域内重复使用给定的频段。
3. **扩频或跳频** 它在一个宽频段上产生许多代码。

早在 1971 年,对蜂窝系统的研究即已表明它是一种特别有效的系统^[1]。在第十五章将给出模拟蜂窝系统与其它数字蜂窝系统的比较。

1.1.3 技术、可行性和服务能力

1971 年,计算机产业进入了一个新纪元:微处理器与小型计算机可以以比从前更小的功耗与体积完成许多复杂的功能;大规模集成电路 (LSI) 技术缩小了移动收发信机的体积,使它们能方便地安装在标准的汽车里。这些成就只是发展高级移动电话所需求的一小部分,它

鼓励工程师们向这一方向努力。

另外一个因素是，移动电话设备的价格下降。由于 LSI 技术与大规模生产，使得价格大大降低，在不远的将来，一个中等收入的家庭也能够负担得起移动电话装置的费用。

1979 年 1 月 4 日，FCC 授权 Illinois 的 Bell 电话公司 (IBT) 在芝加哥地区运行一个试验性的蜂窝移动通信系统，并为当地提供有限的商业服务。此外，美国无线电电话服务公司 (ARTS) 也被授权在华盛顿地区的 Baltimore 开通一个蜂窝系统。这些早期的系统都证明了技术上的可行性。

1.1.4 为什么使用 800MHz?

FCC 选择 800MHz 是因为在较低频段频谱的严格限制而定的。FM 广播在 100MHz 附近工作，电视广播在 41MHz 并扩展到 960MHz 工作。

空对地系统使用 118~136MHz，军用飞机使用 225MHz~400MHz。航海用移动通信定位在 160MHz 附近，固定基站分配在 30~100MHz 频段，因此对 FCC 来说，在 30~400MHz 频段的较低部分分配一段频谱是很困难的，因为这段的业务已经很拥挤了。另一方面，移动电话不能放在 10GHz 或 10GHz 以上，因为传播路径损耗、多径衰落和雨衰减使得这一媒介不宜用于移动通信。

幸运的是，800MHz 原是分配给教育电视频道的，在 70 年代中期，有线电视成为一大主力军，它和电视共用信道，在这种情况下便开放了 800MHz 频段扩展，FCC 在 800MHz 中分配了一个 40MHz 的系统给移动无线电蜂窝系统。

对移动电台来说，800MHz 不是理想的传播媒介，而且已经证明不高于这个频段的蜂窝移动电台系统^[2,3]是可以推广的。虽说传播 800MHz 信号的媒介是可以工作的，但也是相当困难的，第 1.6.1 节将详细描述传播媒介。

1.2 800MHz 频谱分配的历史

1958 年，Bell 系统 (FCC Docket 11997) 在 800MHz 中提出的一种 75MHz 系统，的确是一种宽带的提案。1970 年，FCC (Docket 18262) 临时决定把 75MHz 分配给有线公用载波。1971 年 12 月，Bell 系统公司通过蜂窝移动系统的设计方案证明了技术上的可行性。1974 年，FCC 把频谱的 40MHz 分配给一套即将投放市场的蜂窝系统。在蜂窝市场的预测中允许有不准确性。然而，FCC 颇有战略性地将蜂窝放置在总共约 20MHz 的频谱中。

1980 年，FCC 重新考虑了“每个市场一个系统”的战略，并研究了把竞争引入从前的“单一载波”市场中去的可行性。尽管节省开支使“每个市场一个蜂窝系统”非常具有吸引力，但平衡一下经济利益和竞争利益，使每个服务区有两个批准的载波更符合 FCC 的政策。

每个服务区域使用两个载体使集群有效度的下降将在 1.3 节中讨论，这是 FCC 的观点。它是在没有得到充分的竞争市场结构下提供的一些竞争优势。频率将以 20MHz 分组，并标为 A 组和 B 组，或 A 段和 B 段。

在标准情况下，两个频段服务于两个不同的组：一个为有线（电话）公司*，另一个为无线（非电话）公司。每个公司设计自己的系统，并把系统分成地理区域或小区，每个小区在它自己的频段内工作（见表 1.1）。

* 使用移动无线电电话系统的电话公司。

表 1.1 移动台与基站的传输频率*

频段 **	移动台	基站	两个系统/市场
A	824~835, 845~846.5	869~880, 890~891.5	无线 ***
B	835~845, 846.5~849	880~890, 891.5~894	有线

* 1986年7月24日,各频段额外又增加了5MHz带宽,因此每频段都增加了83个信道,这个系统可能在1988年中增设83个信道。

** 每个频段416个信道,每条信道30kHz。

*** 主要是无线公司。

由于30kHz是规定的带宽,因此目前每频段包含333个信道*。如何把这些有限的资源利用到无限的用户中,以提供充分的话音质量和服务性能,这是一个挑战。

1.3 中继效率

为了考查允许两个或更多(而不是一个)载波所固有的中继效率降低的问题,我们比较一下下面两种情况的中继效率,即一个市场一个蜂窝系统使用666个信道和一个市场两个蜂窝系统使用333个信道。假设所有的频率信道都均匀指配给7个称作蜂窝的子区域,并且,阻塞概率为0.02,平均通话时间为1.76分钟。

从附录1.1中可以查出:在 $N_1=666/7=95$, $B=0.02$ 时,系统提供的话务量为 $A_1=83.1$,在 $N_2=333/7=47.5$, $B=0.02$ 时, $A_2=38$ 。由于同时运行了两个系统,每个系统控制333个信道,故它们总共提供的话务量为 $2A_2$ 。因此,可以看到

$$A_1 \geq 2A_2 \quad (1.3-1)$$

将(1.3-1)式转换成通信忙时每小时所能服务的用户数,就引入了平均通话时间为1.76分钟,则在一个小区中,每小时所能处理的呼叫次数可表达为

$$Q_1 = \frac{A \times 60}{1.76} \text{ 次呼叫/小时} \quad (1.3-2)$$

则

$$Q_1 = \begin{cases} 2832.95 \text{ 次呼叫/小时} & (\text{一个载波/市场}) \\ 1295.45 \times 2 = 2590.9 \text{ 次呼叫/小时} & (\text{两个载波/市场}) \end{cases}$$

故中继效率降低因子当阻塞概率为2%时,可表示为

$$\eta_c = \frac{2832.95 - 2590.9}{2832.95} = 8.5\% \quad (1.3-3)$$

图1.2给出了在不同的阻塞概率下,每个市场一个载波和每个市场几个载波比较下的 η_c 。在阻塞概率增加时,中继效率的下降度将减小,而每个市场的载波数目增多时,下降度将增加。但是,如果阻塞概率太高,例如大于20%,此时一个市场一个载波的性能已极差,下降度已变得不重要了,如图1.2所示。

在阻塞概率为2%时,一个市场一个载波的方式较其它方式将有较大的优势。

* 本书中大多数的分析都是以每个系统为333个信道为根据的。

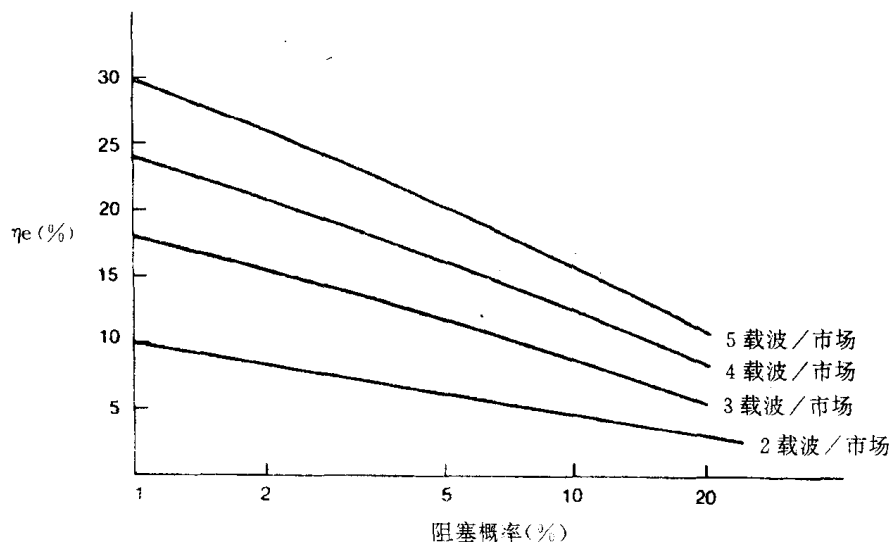


图 1.2 中继效率的下降度——一个载波/市场与多个载波/市场的比较

1.4 基本的蜂窝系统

一个基本的蜂窝系统包含三个部分：移动单元、小区基站及移动电话交换局 (MTSO)。这三个子系统以及连接它们的链路如图 1.3 所示。

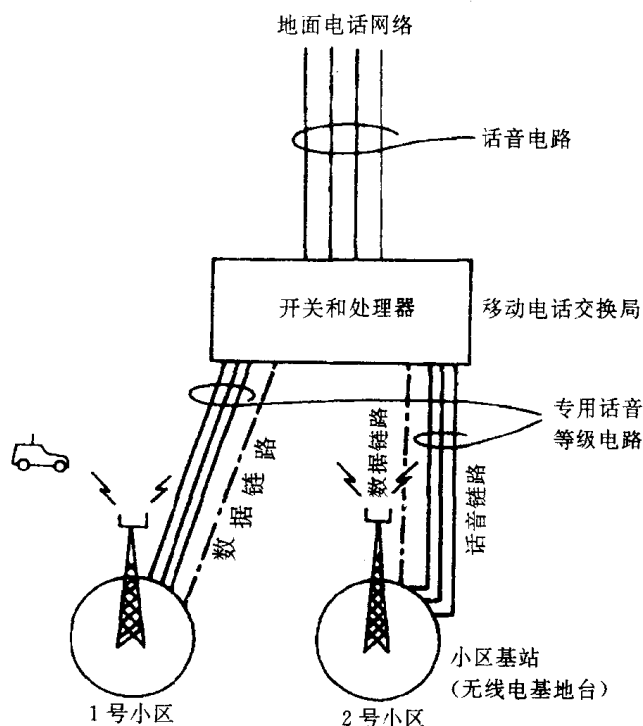


图 1.3 蜂窝系统

1. **移动单元** 移动电话单元包括控制单元、收发信机和天线系统。
2. **小区基站** 小区基站提供移动单元与 MTSO 之间的接口。它具有控制单元、电台机柜、天线、电源及数据终端。
3. **MTSO** 移动电话交换局，它是所有小区基站的中心协调部分，包括蜂窝处理器与蜂

窝交换机。它与电话公司的区域局接口，控制呼叫的处理以及处理计费业务等。

4. 链路 无线电和高速数据链路与上述三个子系统连接。每一个移动单元在一个时刻只能使用一个信道作为其通信链路。但是这个信道并不是固定的，它可以是分配给服务区内整个频段中的任一个信道。由于每一个基站有多信道能力，所以可以和许多移动单元同时连接。

MTSO 是蜂窝移动系统的核心，其处理器负责中心协调与蜂窝管理。

蜂窝交换机可以是模拟的也可以是数字的。它将移动用户的呼叫转接到其它的移动用户或全国性的电话网，采用类似电话公司局间话音中继的方式完成话音中继，而且还含有数据链路处理器与交换机之间以及小区基站与处理器之间的监控链路、无线链路传输基站与移动单元间的话音与信令。高速数据不能在标准电话中继线路上传输，故必须使用微波链路或 T-载波（有线）线路传输。微波无线电链路或 T-载波电路都能完成基站与 MTSO 之间的话音与数据传输。

1.5 性能指标

规定的性能指标有以下三类。

1.5.1 话音质量

如果没有用户的主观评测，话音质量是极难判断的。在这个技术领域，工程技术人员在不知道用户满意什么样的话音质量之前是难以确定怎样设计一个系统的。而在军事通信中情况则不同：军人不得不使用指定的装备。

对任何给定商用通信系统来说，话音质量基于以下的准则：在一组给定值 x 下，将话音质量（从发信机到接收机）评为良好或优良的用户百分比 y 。下面分五级列出最好的两个电路指标（CM）。

CM	得分	质量
CM5	5	优秀（话音完全能听懂）
CM4	4	良好（话音容易听懂，但有一点噪声）
CM3	3	一般（稍作努力话音可听懂，偶尔需重发）
CM2	2	差（在相当努力的情况下话音才听懂，需频繁重发）
CM1	1	不可用（不能听懂话音）

如果选择 CM4 和 CM5 的用户比重增加，则系统造价也增加。

从所有听众获得的 CM 得分的平均值称为平均意见得分 (MOS)，一般的收费话音质量大约是 $\text{COM} \geq 4$ 。

1.5.2 服务质量

服务质量要求有以下三个方面：

1. 覆盖范围 系统的服务区域应尽可能大，但是由于地形的不规则性，无线电波实际上不可能覆盖 100% 的服务区域。这有两个原因：

- 如果在信号微弱处，要保证有足够的接收功率，则必须有极强大的发射功率，这将大大提高系统成本。