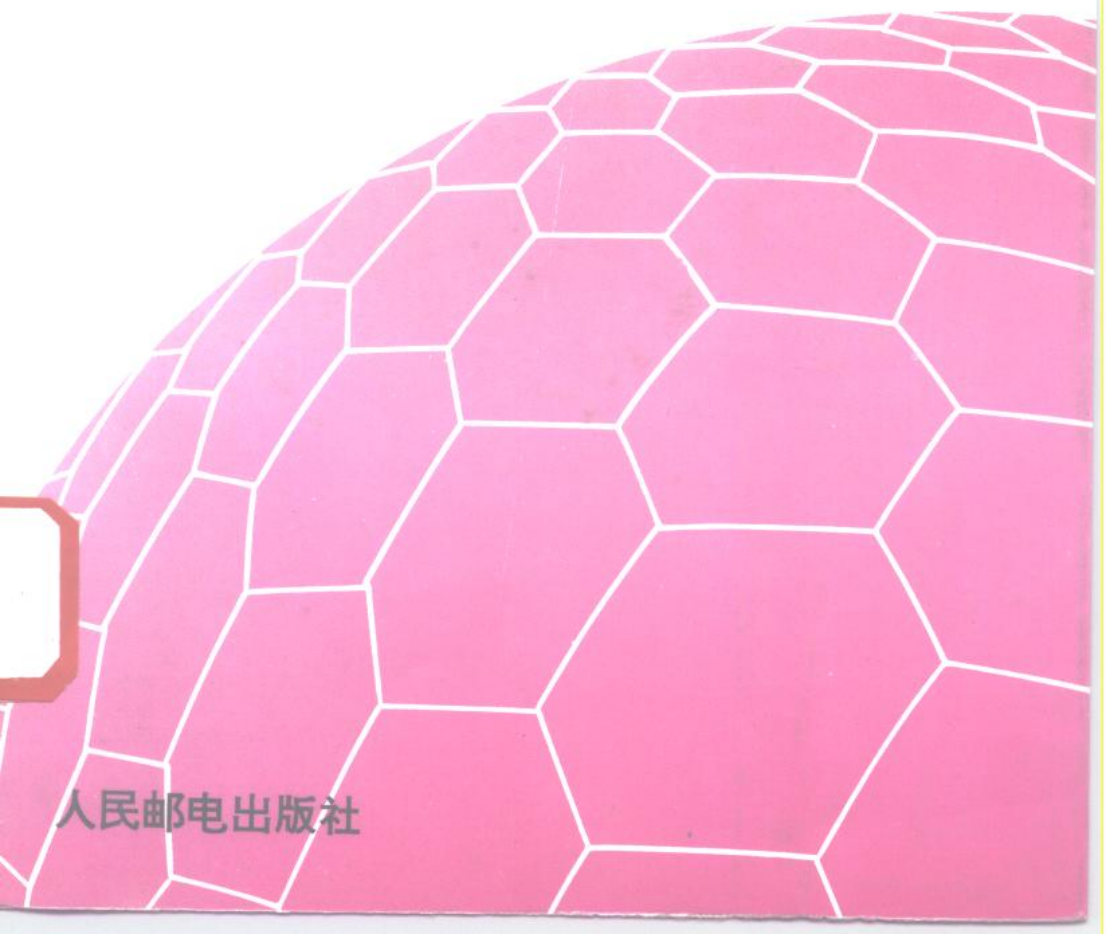


移动通信系统

祁玉生 编著



人民邮电出版社

716909.5

824

378895

移动通信系统

祁玉生 编著



人民邮电出版社

登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书共分六章,即移动通信概述,调制和解调,外部噪声和干扰,移动通信组网方式,频道分配和有效利用频率技术,移动通信系统举例等,叙述了移动通信系统的理论和技术原理。全书取材丰富、内容详实,贯穿着系统性、实用性,突出移动通信发展的方向性。

本书可供从事移动通信工作的工程技术人员参阅,也可供高等院校无线电专业师生学习使用。

移动通信系统

祁玉生 编著

责任编辑 王亚明 陈万寿

人民邮电出版社出版发行

北京朝内大街南竹杆胡同111号

北京密云县印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本: 850×1168 1/32 1995年1月 第一版

印张: 8.75 页数: 140 1995年1月 北京第1次印刷

字数: 227千字 印数: 1—3 000册

ISBN7-115-05397-9/TN·784

定价: 11.00元

前 言

当前我国的改革开放和经济建设正处于一个重要的历史阶段，邮电通信也处于大发展的关键时刻。从现在起到2000年是我国邮电通信发展的重要时期。按邮电部的要求，我们要争取提前一年完成“八五”计划。在此基础上再用三五年时间，基本建成我国通信基础网，适应社会对通信基本业务的需求，并提供国民经济信息化所需的通信手段和条件，到本世纪末，将建成一个规模、容量居世界前列，技术水平先进，网路运行高效，服务质量优良，安全可靠的适应社会多层次要求的现代化通信网。

我国邮电部门自1984年1月上海开办全国第一个公用无线电寻呼台，1987年广州开通了第一个900MHz蜂窝模拟移动通信系统。近年来，移动通信发展迅速。当今的移动通信是集最新的微电子技术、计算机技术和通信技术于一体的先进通信手段。它本身具有交换、传输、终端设备，可以独立成为一个系统向用户提供移动通信业务，与公用网结合则可扩大更大的服务范围，并可通过联网自动漫游功能实现跨省跨地区跨国的移动通信。所以，这种新的通信手段、新的通信业务一出现就受到了市场上各种用户的欢迎。在移动通信领域一直呈现出持续快速增长态势。

80年代开始网路向综合业务数字网方向发展，并从窄带ISDN迅速走向宽带化、智能化和个人化。面对信息时代，通信网的理想要求称作“5个W”，即保证任何人（whoever）随时（whenever）随地（wherever）能同任何人（whoever）实现任何方式（whatever）的通信。因此，要求在技术上逐步实现“全球一网”（one globe, one network）。在这一美好的进程中移动通信系统将起着重要的基础性作用。

为适应当前和今后移动通信迅速发展要求，必须十分重视人员的培训。可以说，当前移动通信技术人员无论在人员的素质上还是在数量上都不能满足发展要求，所以，加强人员教育培训已是一件十分紧迫和重要的任务。为了实现通信现代化，提高服务水平，不断消化吸收和开发移动通信方面不断出现的新技术和新业务，必须重视人才培养，这是一项战略性任务。

南京邮电学院教育面向通信发展，面向企业需要，面向通信现代化，面向未来，较早开始了移动通信系统方面的培训、教学工作，并编写了一套移动通信培训教材。这套教材包括无线寻呼系统、移动通信系统、GSM 数字蜂窝移动通信系统、移动通信交换原理及信号方式、移动通信工程设计、移动通信的相关设备等。这套书的特点是：

(1) 内容新颖、实用，适合教学。

(2) 内容相互配套，基本上包括了移动通信中的关键技术。

人民邮电出版社编辑出版这套培训教材是一件十分有意义的工作。它的正式出版将对从事通信领域工作的同志们带来求知的方便，带来智慧，带来工作效益。

邮电部移动通信局

杜宝良

编 者 的 话

移动通信具有信息传输灵活、机动、高效和业务范围广的特点，是现有通信方式的补充和扩展。90年代初提出个人通信的概念，移动通信技术发展使这个通信理想目标的实现成为可能。

本书是为适应移动通信发展而编写的，以调频蜂窝式移动电话系统为主要内容，还有数字移动通信系统理论和技术，同时引入扩展频谱传输原理。本书也是作者多年来从事移动通信教学和科研工作的总结。

本书共分六章，第一章介绍移动通信系统组成、多址联接方式、语音编码、几种典型的蜂窝式移动电话通信系统；第二章介绍调制和解调，着重阐述GMSK和 $\pi/4$ -QPSK调制技术以及扩展频谱通信技术；第三章以分析移动通信系统中的干扰为理论基础，为系统规范制定、频率选择、工程设计以及容量扩大提供依据；第四章是移动通信组网方式，以我国邮电部1992年制定的《移动通信网路技术体制》为依据，阐述移动通信中特有的交换接续技术、频道复用、网路性能指标、编号计划等；第五章是频道分配和有效利用频率技术；第六章介绍无线寻呼系统、TACS蜂窝式陆地移动通信系统、集群移动通信系统、GSM数字蜂窝移动通信系统以及CT2无绳电话等。各章都列有思考题及习题。

对于本书中存在的问题或错误，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 移动通信概述	1
1.1 移动通信的发展过程及其特点	1
1.2 移动通信系统组成	5
1.3 移动通信工作频段	7
1.4 移动通信的多址联接方式	9
1.5 移动电话话音传输质量和系统输出信噪比 S/N	17
1.6 几种典型的蜂窝移动通信系统.....	19
1.7 数字移动通信中的语音编码.....	24
1.8 移动通信发展动向.....	26
思考题及习题	33
第二章 调制和解调	34
2.1 引言.....	34
2.2 角度调制.....	35
2.2.1 角度调制的基本原理.....	35
2.2.2 角度调制的频谱分析.....	38
2.2.3 频率调制系统的抗干扰能力.....	43
2.2.4 发信机信号处理电路.....	51
2.3 数字调制和解调.....	55
2.3.1 2FSK 调制	56
2.3.2 4PSK 调制	58
2.4 窄带数字调制.....	64
2.4.1 MSK 调制	65
2.4.2 GMSK 调制	71

2.4.3 平滑调频 (TFM)	74
2.4.4 $\pi/4$ -QPSK 调制	76
2.5 GMSK 与 $\pi/4$ -QPSK 的比较	85
2.6 扩展频谱调制	86
2.6.1 直接序列调制系统	87
2.6.2 频率跳变调制系统	92
2.7 单边带调制	94
思考题及习题	96
第三章 外部噪声和干扰	98
3.1 外部噪声	99
3.2 邻道干扰	102
3.2.1 发信边带扩展	103
3.2.2 发信机边带噪声	105
3.2.3 发信机的杂散辐射	107
3.2.4 载波邻道干扰比的计算	108
3.2.5 接收机邻道选择性的计算	111
3.3 近端对远端比干扰	113
3.4 同频干扰	116
3.5 互调干扰	120
3.5.1 最小频道数的无互调信道组	123
3.5.2 发射机互调	127
3.5.3 接收机互调	131
3.6 移动台发射机的自动功率控制 (APC)	133
3.7 数字传输系统的码间干扰	135
3.8 多址干扰	138
思考题及习题	140
第四章 移动通信组网方式	142
4.1 无线电路的工作方式	142
4.2 大区制移动通信网	146

4.3 小区制移动通信网构成方式	148
4.3.1 条状服务区	149
4.3.2 面状服务区	153
4.4 蜂窝移动通信网的同频干扰概率和同频复用保护 距离的计算	159
4.4.1 同频干扰模式	159
4.4.2 同频干扰概率	160
4.4.3 同频复用保护距离的计算	164
4.5 小区分裂	167
4.6 移动电话网的网路结构	171
4.7 移动电话局的设置原则	177
4.8 移动电话网与长途电话网、本地电话网的连接	179
4.9 编号计划	181
4.10 信令	187
4.11 移动通信中特有的交换接续技术	194
思考题及习题	204
第五章 频道分配和有效利用频率技术	205
5.1 移动电话网的频率配置	206
5.2 波道分配	208
5.3 SAT 和 DCC 分配原则	218
5.4 多波道共用技术	221
5.5 频谱的有效利用技术	229
思考题及习题	231
第六章 移动通信系统举例	232
6.1 无线寻呼系统	232
6.2 TACS 蜂窝式陆地移动通信系统	239
6.3 集群移动通信系统	249
6.4 GSM 数字蜂窝移动通信系统	253
6.5 CT2 数字无绳电话	259

思考题及习题.....	265
参考文献.....	266

第一章 移动通信概述

1.1 移动通信的发展过程及其特点

移动通信是指通信双方或至少其中一方在运动状态中进行信息传递的一种通信方式。移动通信不受时间和空间的限制，交流信息机动灵活、迅速可靠。它被认为是实现通信理想目标的重要手段，适应信息社会发展的要求，因而具有广阔的发展前景。

移动体之间的通信联系只能依靠无线电通信。随着社会不断发展，移动体之间的通信日趋频繁。其次，移动用户与固定用户之间的通信离不开公众电话网（PSTN）的支持。因而，移动通信的发展集中了有线通信、无线通信和电子计算机控制技术的最新成就，大规模集成电路和无线电技术的发展，为大量开发移动通信业务提供了条件。

早期移动通信的发展，可以追溯到本世纪 20 年代。这个时期，主要完成通信实验和电波传输试验工作，在短波的几个频段上实现了小容量的专用移动通信系统，其话音质量差，自动化程度低，一般不能与公众网联接。从 40 年代到 60 年代，各种移动通信系统相继建立，在技术上实现了移动电话系统和公众电话网的联接。例如，1964 年美国建立的 IMTS 系统，实现了自动拨号和移动台信道的自动选择。70 年代中期以后，民用移动通信用户数增加，业务范围扩大，频率资源和可用波道数之间的矛盾日益尖锐。这个时期的移动通信发展，重点在于开发新频段、论证新方案和有效利用频谱等方面的研究工作。70 年代末，一种以微型计算机和移动通信结合，以同频复用、多波道共用和全自动地接入公共电话网的小区制、大容

量蜂窝式移动通信系统,在美国、日本和瑞典等国家先后投入使用。美国在 1979 年于芝加哥开始蜂窝式汽车电话试验,1983 年正式开通业务,发展十分迅速。估计每年新增用户数约 40~50 万。蜂窝式汽车电话系统的年增长率为 30%~40%。

与模拟系统相比,数字移动通信系统更能满足大容量、高质量、智能化和综合化等的要求。1982 年,欧洲邮电管理委员会 (CEPT) 成立了移动通信特别小组 (GSM),开发数字蜂窝式移动通信技术。1987 年,GSM 就泛欧数字蜂窝系统的 GSM 规范达成一致意见。1991 年,GSM 数字蜂窝式移动通信系统在欧洲问世,从此,移动通信跨入了第二代。

我国民用移动通信发展大致分为早期、中期与近期三个阶段。50 年代末至 70 年代中期为军用台向民用台开放时期,主要用于公安、邮电、交通、渔业等部门。自 1974 年至 1980 年初,制订了通用技术条件,开始研制频道间隔为 50kHz 和 100kHz 的 74 系列产品。1980 年制定了频道间隔为 25kHz 的性能指标、测试方法和环境要求等部分标准,开始了 80 系列产品的研制,并引进组装 450MHz 频段、25kHz 大区制设备。1986 年以来,我国公众移动通信发展很快,先后在北京、上海、广州等地开通了小区制、大容量移动通信业务。近来,该项通信业务已在全国范围开通。

比较国际上成熟的 900MHz 频段公用移动通信系统,英国 TACS 系统具有发射带宽比较宽 (32kHz)、调制频偏大、信令传输速率高、纠错和检错能力强等优点,因此我国 900MHz 频段的移动通信系统采用 TACS 制式,便于生产,也便于引进建网。

我国近年来一直关心世界上数字移动通信的发展。基于移动通信的发展方向,数字移动通信的研究已被列为我国“八五”科研攻关项目,以促成移动通信的突破性发展。

移动通信具有如下特点:

(1) 移动通信的电波传播条件十分恶劣。因为移动台处在迅速运动之中,特别是陆上移动通信,移动台还经常运动于建筑和障碍

物之间,接收场强中值(信号强度大于它的概率为 50%的场强值)受地形阻挡影响很大。另外,多径传播造成的瑞利衰落,信号电平起伏可达 30dB 以上。运动中多径传播的影响还会产生附加的调幅和调相。关于移动通信电波传播特性及场强计算可参考文献^[1],这里将要点概括如下:

(a) 对于小区制和大多数大区制移动通信而言,电波传播的基本模型是超短波在光滑地面上直射波与反射波的矢量合成。设收发距离为 d ,则直射波扩散损耗正比于 d^2 ;而光滑地面移动无线电路径损耗正比于 d^4 ,与频率无关。

(b) 陆地移动通信中,传播路径上的建筑物及其它障碍物将产生多径反射。各个不同路径反射波矢量合成的结果,使信号场强随地点不同而呈驻波分布。接收点场强包络的快变化服从瑞利分布,通常称为瑞利衰落或快衰落,快衰落深度可达 20~30dB,衰落速率(即多普勒频移 f_D)与移动台运动速度及工作频率有关。场强中值随着地理位置变动呈现慢变化,所以称为慢衰落或地形衰落。产生慢衰落的原因是高大建筑物的阻挡及地形变化的阴影效应;其次,大气折射条件变化使多径信号相对时延变化,造成同一地点场强中值随时间的慢变化,但这种变化远小于地形因素的影响。慢衰落时局部场强中值相对于较大区域场强中值的变化服从对数正态分布,即局部场强中值的对数服从正态分布。标准偏差与地形和工作频率有关,在市区和 UHF 频段, $\sigma=6\sim12\text{dB}$ 。

(c) 对于山区、城市等不同于光滑地面的移动通信传播,必须根据不同的环境条件,应用统计分析方法找出传播规律,得出相应的接收信号场强预测模型。例如, Egli 模型考虑了 VHF 频段粗糙地面的不规则地形对移动通信的绕射影响,认为这种影响等效于在光滑地面反射模式的基础上附加一个表示绕射损耗的修正值。Okumura 在东京地区大量实测场强数据的基础上,采用数理统计分析方法,确定了市区 UHF 频段移动通信场强预测模型。Okumura 模型适用于市区和郊区的各种不同条件,是一个比较全面的模式,为目前移动

通信场强预测广泛采用。应该指出,在有别于东京地区的地理环境进行场强预测中,必须结合当地的地形地物特性作必要的修正。

(d) 对市区移动通信信号中值场强或传播损耗的实测表明一个近似规律:当传播距离 $d < 15\text{km}$ 时,传播损耗大约正比于 d 的4次方;当 $d > 50\text{km}$ 时,传播损耗近似正比于 d 的5~6次方。

(2) 多普勒频移产生附加调频噪声。由于移动台处在移动中,所以工作时有多普勒频移 f_D 产生。 f_D 与移动速度有关,当移动台在电波主射线上移动时,有

$$f_D = f \frac{V}{c} \tag{1.1}$$

其中, f 为工作频率, c 为光速, V 为移动台运动速度。当运动速度较高时,如在超音速飞机上,多普勒频移的影响必须考虑,而且工作频率越高,频移越大。对于常用的移动通信频段,表1.1列出了相应的数值结果。

表 1.1 多普勒频移的计算

运动速度 (km/h)	$\frac{f_D}{f}$	f_D		
		$f = 150\text{MHz}$	$f = 450\text{MHz}$	$f = 900\text{MHz}$
60	0.55×10^{-7}	8.33Hz	25Hz	50Hz
1200	1.11×10^{-5}	166.6Hz	500Hz	1000Hz

(3) 移动台受到干扰和噪声的骚扰。移动通信网是多信道、多电台通信系统。当移动台工作时,往往受到来自其它电台的干扰,例如同频干扰、邻道干扰和互调干扰等。同时,还可能受到城市噪声、各种车辆发动机点火噪声等的影响。所以,在系统设计时,应该根据不同形式的干扰,采取抵抗措施。

(4) 移动接收设备应该有很大的动态范围。移动台的位置不断变化,接收机和发射机之间的距离经常变动,接收电平变化较大,要求接收设备有很大的动态范围。

(5) 频谱拥挤。在移动通信中,用户数和可资利用的波道数之

间的矛盾特别突出。为此，除开发新频段以外，应该采用多种有效利用频率的技术，如缩小波道间隔、频率复用和多波道共用等。频率拥挤是影响移动通信发展的主要因素之一。

(6) 建网技术复杂。移动台可以在整个移动通信区域内自由运动，不通话的移动台与交换中心是没有固定联系的。为了实现通信，交换中心应该知道移动台的位置，以便决定由哪个基站与呼叫移动台联系，并相应地分配一个合适的波道。为此，需采用“位置登记”技术。另外，为了实现大范围内不间断通信，必须有相应的波道切换和跟踪交换技术。

1.2 移动通信系统组成

移动通信系统是在移动体之间、移动体和定点用户之间，以及定点用户与移动体之间，能够建立许多信息传输通道的通信系统。移动通信包含无线传输、有线传输和信息的收集、处理和存储等，使用的主要设备有无线收发信机、交换控制设备和移动终端设备。

图 1.1 画出了典型的蜂窝移动电话系统 (CMS)，它由公众通信网和移动通信网两大部分组成。移动通信网是系统中的一个完整实体，包括交换分系统、基站分系统和大量移动用户终端。

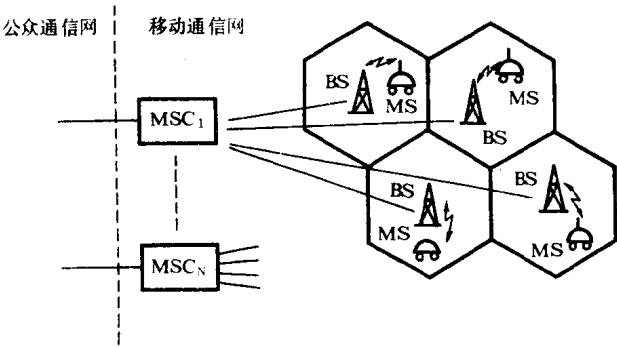


图 1.1 蜂窝移动电话系统

交换分系统包括移动交换中心 (MSC)、归属位置登记处 (HLR)、被访位置登记处 (VLR)、设备识别登记处 (EIR)、鉴权中心 (AC) 等基本组成部分。它是移动通信系统的控制交换中心, 又是与公众通信网的接口。MSC 负责交换移动台 (MS) 各种类型的呼叫, 如本地呼叫、长途呼叫和国际呼叫, 提供连接维护管理中心的接口, 还可以通过标准接口与基站 (BS, 或称基地台) 和其它 MSC 相连。移动交换中心控制的区域称为 MSC 控制区。图 1.1 中 N 个 MSC 控制区组成移动通信业务区。除此之外, MSC 还具有支持移动台越区切换 (越区波道转换)、MSC 控制区之间的漫游和计费等功能。

基站分系统包括一个基站控制器 (BSC) 和由其控制的若干个基站收发信系统 (BTS), 负责管理无线资源, 实现固定网与移动用户之间的通信连接, 传送系统信号和用户信息。BSC 单元用来与 MSC 进行数据通信, 与 MS 在无线信道上进行数据传输。基站 (BS) 的话音信道单元数量取决于需要同时通话的用户数, 一般有几条或几十条, 甚至多达几百条无线信道。BS 与 MSC 之间采用有线中继电路传输数据或模拟信号, 有时也可采用光缆传输或微波中继方式。BS 以无线形式与 MS 连接, BS 的覆盖范围称为无线区。

移动台 (MS) 是移动通信系统不可缺少的一部分, 它有车载式、手持式、携带式等类型。在数字蜂窝移动通信系统中, 移动台除最基本的电话业务以外, 还可为用户提供各种非话业务。移动台由收音机、发信机、数据逻辑单元、拨号按钮和送受话器等组成。当移动用户和市话用户建立呼叫时, 移动台与最靠近自己的基站之间确立一个无线通道, 并通过 MSC 与市话用户通话。同样地, 任何两个移动用户之间的通话, 话音通道也是通过 MSC 建立的。

图 1.2 是一个典型的移动通信收发信机方框图, 主要组成部分有: 发信信号处理、接收信号处理、调制解调、收信和发信通道、频率合成器和双工器等。发送接收信号处理电路是为提高信道信号可靠性和有效性而设置的。在数字蜂窝移动通信系统中, 发送信号处

理包括语音编码、信道纠错编码、加密、帧结构生成等部分。模拟系统的发送信号处理电路详见第二章。调制和解调是信号变换的关键部件。双工器即天线共用器，它既要将在多信道共用系统中的每部分发信机的输出功率有效地送到天线上去，又要避免各发信机之间、发信机和接收机之间的相互影响。频率合成器是收发信机的频率源。由于频率合成器能产生高精度、高稳定度的信号，而且能在操作单元控制下方便地输出许多不同频率的信号，所以在移动通信中获得广泛应用。

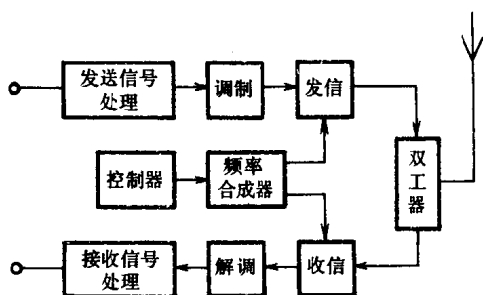


图 1.2 移动通信收发信机方框图

目前，移动通信中大多数收信机都采用二次变频方案。第一中频选得较高，常用 10.7、21.4、58.1MHz 等，有利于抗镜像频率的干扰；第二中频选得较低，常用 455kHz 和 1.75MHz，便于抑制邻道干扰。同时，两个中频放大器可以提供稳定的高增益，以提高接收灵敏度。

1.3 移动通信工作频段

频谱是宝贵的资源。为了有效使用有限的频率，对频率的分配和使用必须服从国际和国内的统一管理，否则就会造成互相干扰或资源浪费。