

通信工程丛书

移动通信(1)

移动通信工程

卢尔瑞 孙孺石 丁怀元 编著
朱庆璋 审

中国通信学会主编·人民邮电出版社出版

目 录

第一章 概述

第一节 引言	(1)
第二节 移动通信的发展过程及其应用价值	(1)
第三节 移动通信系统的分类	(4)
一、公用移动电话系统	(4)
二、调度系统	(7)
三、局部专用无线通信系统	(8)
四、无线电寻呼系统	(8)
五、无绳电话系统	(10)
六、农村无线电话系统	(11)
第四节 陆地移动无线通信的特点	(12)
第五节 主要技术动向及发展趋势	(14)
一、采用数字传输, 开放多种业务	(14)
二、扩充基本功能, 满足用户需要	(15)
三、发展便携电话, 实现人一人通信	(15)
四、利用卫星中继, 扩大服务范围	(16)
五、提高频谱利用率, 开拓新的频段	(17)
第六节 陆地移动业务的频率划分及使用电台的有关 规定	(19)
一、无线电频段及其命名	(19)
二、陆地移动业务的频率划分	(19)
三、使用电台的有关规定	(20)
参考资料	(21)

第二章 调制

第一节 引言	(22)
--------	--------

第二节 包络调制	(23)
一、调幅 (AM)	(23)
二、单边带调制 (SSB)	(28)
三、振幅压扩单边带技术 (ACSB)	(33)
第三节 调频和调相	(36)
一、角调制的基本原理	(36)
二、角调制的基本性能	(41)
三、调制方框图	(48)
四、接收机的门限电平	(55)
第四节 数字调制在移动通信中的应用	(56)
一、移动无线信道传输数字语音的可能性	(57)
二、GMSK调制原理及其基本特性	(58)
三、TFM调制原理及基本特性	(60)
参考资料	(61)

第三章 移动无线设备

第一节 引言	(62)
第二节 传输线	(62)
一、传输线的基本参数	(63)
二、传输线的一般性能	(65)
三、阻抗圆图	(71)
四、同轴线的损耗及传输效率	(75)
五、同轴线的功率容限	(77)
第三节 天线及天线共用装置	(79)
一、天线的基本性能和参数	(79)
二、移动台天线	(104)
三、基站天线	(113)
四、雷电保护	(127)
五、发信天线共用器	(130)
六、收信天线共用器	(148)
七、收、发天线共用装置	(150)

第四节 移动无线收、发信机	(160)
一、发信设备方框图及其电路	(160)
二、收信设备方框图及其电路	(189)
参考资料	(198)

第四章 电波传播

第一节 引言	(199)
第二节 固定无线通信的电波传播	(201)
一、自由空间传播	(201)
二、光滑平面上的传播	(204)
三、光滑球形地面上的传播	(207)
四、楔形单峰绕射	(211)
五、楔形多峰绕射	(214)
六、非楔形障碍物绕射	(215)
七、植被损耗	(216)
八、建筑物的影响	(221)
九、隧道中的传播	(221)
十、天线极化的影响	(222)
十一、衰落现象	(223)
十二、小结	(225)
第三节 陆地移动无线电波传播	(226)
一、地形特征和传播环境的分类及定义	(228)
二、多径传播	(230)
三、阴影效应	(242)
四、电波传播的衰减特性	(243)
第四节 无绳电话系统的传播特性	(258)
一、室内传播特性	(259)
二、室外(市区)近距离内的传播特性	(260)
第五节 海上移动无线电波传播	(262)
第六节 航空移动无线电波传播	(263)
第七节 环境噪声和多径传播对接收质量的影响	(265)

一、环境噪声的影响	(265)
二、多径传播的影响	(267)
三、环境噪声和多径传播对语音质量的综合影响	(268)
第八节 移动数据传输	(273)
一、多径衰落引起的误码	(273)
二、多径衰落和阴影效应引起的误码	(275)
三、在衰落条件下,比特率和误码性能的关系	(277)
四、火花干扰引起的误码	(278)
五、误码分布	(278)
六、当同时考虑火花干扰、多径衰落和阴影效应的影响 时,信道误码性能的预测	(282)
七、改善误码性能的方法	(283)
第九节 最低保护场强与接收机输入端要求的最低保 护功率电平	(286)
一、接收机输入电压的定义	(286)
二、接收电场强度与接收机输入电压的关系	(287)
三、最低保护场强与接收机输入端要求的最低保护功率电 平	(288)
参考资料	(289)

第五章 频谱利用

第一节 引言	(291)
第二节 频谱分配的基本原则	(291)
一、频段划分	(291)
二、频道间隔	(292)
三、公共边界的频率协调	(293)
四、多频道共用技术	(293)
五、频率复用	(295)
六、必须共同遵守的一些主要规则	(296)
七、频谱利用率的评价	(298)
第三节 影响频率选择的因素	(299)

一、传播环境的影响	(299)
二、有关组网因素的影响	(299)
三、多频道共用的影响	(303)
四、互调的影响	(303)
第四节 收发间隔与发信宽带噪声频谱的关系	(305)
第五节 无线频道的分配	(306)
一、单频频道的分配	(306)
二、双频频道的分配	(307)
三、单频、双频混合使用	(310)
第六节 无三阶互调的频率分配方法	(311)
参考资料	(316)

第六章 移动通信制式

第一节 引言	(318)
第二节 移动通信的无线链路结构	(319)
一、单频道单工链路	(319)
二、双频道单工链路	(320)
三、双频道双工链路	(320)
四、单频道单向链路	(322)
五、移动中继链路	(327)
第三节 信令方式	(328)
一、信令的功能及类型	(328)
二、模拟信号	(329)
三、数字信号	(337)
第四节 移动电话系统的组网方式	(352)
一、服务区形状	(353)
二、蜂窝式小区结构的频道配置	(357)
三、小区分裂	(359)
四、频道选择方式	(360)
五、入网方式	(365)
六、入网接口技术要求	(372)

第五节 编号计划	(381)
一、编号原则	(381)
二、全国公用交换电话网自动电话编号计划	(382)
三、全国公用陆地移动通信网的编号计划	(385)
四、拨号程序	(387)
五、全国大、中容量移动电话局内人工台的号码	(387)
六、移动台识别号码	(388)
七、移动台漫游号码	(389)
八、区域识别码	(390)
第六节 公用陆地移动电话系统的组网实例	(391)
一、小容量移动电话系统	(391)
二、中容量移动电话系统	(399)
三、大容量移动电话系统	(404)
四、结束语	(418)
参考资料	(419)

第七章 系统设计

第一节 引言	(420)
第二节 移动通信系统的制式设计及技术标准	(421)
第三节 系统容量的预测	(424)
一、按移动电话分布密度计算	(424)
二、按移动电话安装率计算	(425)
三、按公用移动电话占市话的百分比计算	(426)
四、按普及率计算	(426)
第四节 设计话务量及无线频道呼损率	(427)
一、设计话务量	(427)
二、无线频道呼损率(服务等级)	(429)
三、频道利用率	(430)
第五节 设计方程	(432)
一、移动无线电路的设计原则及设计三要素	(432)
二、设计方程	(433)
第六节 通信概率	(437)

一、基站覆盖区的边缘通信概率	(438)
二、无线覆盖区的区内通信概率	(441)
三、流动基站(或移动台)与移动台通信时的通信概率	(444)
第七节 移动数据传输覆盖范围的预测	(445)
一、设计移动数据通信系统的一般考虑	(445)
二、覆盖范围的预测	(446)
第八节 点-点(或-多点)固定无线通信的电路设计	(447)
一、陆地移动通信网中点-点(或-多点)固定无线通信的特点	(447)
二、设计步骤	(448)
三、最低输入功率	(448)
四、电路设计方法	(450)
参考资料	(453)

第八章 电磁干扰

第一节 引言	(454)
第二节 电磁干扰的种类	(455)
第三节 同频道干扰	(456)
一、同频道干扰的概念	(456)
二、抑制同频道干扰的措施	(459)
三、射频保护比	(460)
四、用于频率协调的同频道干扰模式及复用保护距离的计算	(461)
五、蜂窝式陆地公用移动通信网的同频道干扰	(467)
六、同频道干扰对无线覆盖范围和通信概率的影响	(473)
第四节 相邻频道干扰	(476)
第五节 发信机边带噪声	(477)
一、典型的陆地移动发信机频谱	(477)
二、影响边带噪声的因素及其限制办法	(478)
三、边带噪声方程	(478)
第六节 发信机的杂散辐射和接收机的杂散响应	(479)

一、发信机的杂散辐射	(479)
二、接收机的杂散响应	(482)
第七节 接收机的灵敏度抑制	(483)
第八节 接收机本振源采用频率合成器的影响	(484)
一、对合成器带外噪声的要求	(485)
二、对合成器带内噪声的要求	(487)
第九节 互调干扰	(487)
一、互调干扰的基本概念及分类	(487)
二、产生互调干扰的必要条件	(488)
三、互调干扰的频率组合关系	(488)
四、多频道系统的互调干扰数	(490)
五、发信机互调	(492)
六、接收机互调	(497)
参考资料	(501)

第九章 无线电话设备的主要指标及其测量方法

第一节 引言	(502)
第二节 测试条件	(502)
一、正常测试条件	(502)
二、极限测试条件	(503)
三、其他测试条件及规定	(504)
第三节 发信机电气性能及其测量方法	(505)
一、载波额定功率	(505)
二、载频频率容限	(505)
三、调制频偏及其限制	(506)
四、音频响应	(510)
五、音频非线性失真系数	(511)
六、寄生调幅	(511)
七、邻道辐射功率	(512)
八、杂散辐射	(515)
九、互调衰减	(516)

十、发信机(载波)启动时间	(519)
第四节 接收机电气性能及其测量方法	(520)
一、噪声系数与灵敏度	(520)
二、大信号信噪比	(525)
三、音频输出功率和谐波失真	(526)
四、音频响应	(526)
五、限幅特性	(527)
六、调制接收带宽	(528)
七、杂散辐射	(529)
八、邻道选择性(S_A)	(530)
九、杂散响应抑制(S_S)	(532)
十、阻塞(S_B)	(533)
十一、抗互调干扰性能(S_I)	(534)
十二、同频道抑制(S_C)	(535)
十三、接收机启动时间	(537)
十四、接收机静噪关闭时间	(538)
十五、音频灵敏度	(539)
第五节 信令系统的主要技术参数及其测量方法	(539)
一、信令灵敏度	(542)
二、误动信令	(543)
三、调制器输出电平	(544)
四、解调器/解码器工作电平范围	(545)
五、解调器/解码器响应带宽(仅指音频系统)	(545)
参考资料	(546)

第十章 移动通信系统的规划实施、维护和管理

第一节 引言	(547)
第二节 工程设计中的某些有关问题	(547)
一、无线基站站地的选择	(549)
二、天线和天线塔的基本要求	(549)
三、机房设计	(551)

四、电源系统	(553)
五、接地	(555)
六、移动设备的安装	(557)
第三节 设备测试及系统试验	(560)
一、单机指标测试	(560)
二、连接线路试验	(560)
三、电场强度测试	(560)
四、系统试验	(561)
第四节 设备的维护和管理	(562)
一、技术人员的配备	(562)
二、设备的维护	(562)
三、定期测试检查	(563)
参考资料	(564)

附 录

附录一、英(美)制与公制的度量换算表	(565)
附录二、巴尔姆表	(566)
附录三、概率积分表	(570)
附录四、贝塞尔函数表	(574)
附录五、农村地区移动无线电波传播曲线	(576)
附录六、阻抗圆图	(581)
附录七、发射的标志	(582)
附录八、线规、射频电缆和插头座	(585)
参考资料	(631)
英文名词缩写	(632)

第一章 概 述

第一节 引 言

随着工业社会向信息社会的发展，世界上发达国家以至许多发展中国家都在致力于现代化综合通信网的建设，而现代化综合通信网中不可缺少的一环就是移动通信。

所谓移动通信，系指通信双方或至少有一方在运动中进行信息交换。例如移动体（车辆、船舶、飞机）与固定点之间、或移动体之间、或活动中的人与固定点、人与人以及人与移动体之间的通信等等。

由于移动通信几乎集中了有线和无线通信的最新技术成就，不仅可传送话音信息，而且还能够具有像公用交换电话网中一样的数据终端功能，它是使用户随时随地快速而可靠地进行多种信息交换的一种理想通信形式，因此，移动通信和卫星通信、光缆通信一起被列为现代通信领域中的三大新兴通信手段。

第二节 移动通信的发展过程及其应用价值

由于无线电在十八世纪末期的问世和十九世纪初期的发展，人们很快认识到，利用无线电进行移动通信具有广阔的前景。半个多世纪以来，移动通信大致已经历了四个发展阶段。

第一阶段是本世纪二十年代至四十年代初期，这是移动通信的早期发展阶段。这期间，在短波的几个频段中初步进行了一些传播

试验，在局部地区或部门建立了一些专用移动通信系统。如1921年开通的美国底特律警察移动通信系统（工作频率接近于2MHz，40年代初频率提高到30~40MHz）和1926年开通的西德列车移动电话系统等。

第二阶段是四十年代中期至六十年代初期。这期间，在专用移动通信发展的基础上，公用移动通信业务开始问世。1946年，根据FCC（美国联邦通信委员会）的计划，贝尔系统在圣路易城建立了世界上第一个公用汽车电话网，称之为“城市系统”。接着，西德（1950年）、法国（1956年）、英国（1959等）等国家都相继研制了公用移动电话系统。五十年代中期，美国贝尔系统完成了人工交换系统，解决了移动电话系统与公用电话网之间的接续问题。

第三阶段是六十年代中期至七十年代中期，这是移动电话系统的改进和完善阶段。这个时期出现了美国的IMTS（包括MJ—150MHz和MK—450MHz系统）和西德的B网路。这些系统的主要特点是可以直接拨号、自动选择无线频道并自动接入公用电话网。

第四阶段是从七十年代中期以后。从那时候开始，一方面设备朝小型化和功能多样化方面发展，各种轻便移动无线设备的使用大大增加；另一方面，开始了公用移动通信系统新体制的论证与试验。70年代末至80年代初。一种以微处理机和移动通信的完美结合为特征，以同频复用和大容量、全地域自动接入公用交换电话网为目标的小区制蜂窝式崭新的移动通信系统在美国、日本和瑞典等国家陆续投入使用。

可以认为，进入八十年代以后，各国移动通信的发展方兴未艾。至1985年年底，全世界仅公用汽车电话用户就达50万左右。目前世界上开放公用移动电话业务的一些主要系统参见表1-1。至1990年，一些国家（包括部份城市）将要达到的移动无线电话密度（用户数/1000人）如表1-2所列。由表可见，从1973年至1990年，按汽车电话用户密度计算，这些国家（城市除外）的调度电话平均年增长率为7.9%左右，公用汽车电话的平均年增长率为11%左右。由

表 1-2

国外汽车电话用户密度统计表

国家 或 城市	汽车电话 用户密度					
	用户数/1000人					
	1978年实际数			1990年估计数		
	总 数	公 用	调 度	总 数	公 用	调 度
美 国	23	0.5	22.5	50	5.0	45.0
日 本					4.0	
瑞 典	12	0.5	11.5	40	6.0	34.0
丹 麦	8.5	1.0	7.5	30	6.0	24.0
哥本哈根	12	1.8	10.5	40	10.0	30.0
挪 威	5.4	1.8	3.6	25	8.5	16.5
芬 兰	3.4	0.7	2.7	25	6.5	18.5
西 德	5.5	0.2	5.3	15	0.9	14.1
英 国	2.7	0.1	2.6	15	1.2	13.8
大 伦 敦	3.1	0.1	2.6	25	2.5	22.5

此可见移动通信的发展之快。

移动通信之所以发展得这样快，是因为它具有广泛的实用价值，因而越来越被人们所重视。移动通信除了作为公用通信手段的一种补充外，作为专用通信手段已普遍应用于社会的各个领域，对经济和社会发展已经并正在发挥日益显著的作用。

据统计，移动通信用于汽车调度，可使运输和生产效率提高15~25%，即4辆车能顶5辆车用，这既提高了经济效益，又节省了宝贵的燃料。例如苏联仅在1981年一年内，由于采用移动无线调度设备而带来的经济效益就高达70万卢布；美国一家公司在采用无线调度电话以后，一年即节约燃料240万加仑。

移动通信用在商业和财政金融方面，有助于加快成交，减少运输和库存费用，加速资金周转，从而可增加流通的货币。

移动通信用在新闻报导方面，可以迅速地将活动现场采访的信息（声音、图像、数据等）传送到新闻发布中心，使新闻报导迅速及时。

移动通信用在公共安全方面，包括公安、消防、抢险、救灾

(洪水、大雪、森林火灾)等等,其作用都是难以估量的。

民用移动通信的作用是如此重要,而军用移动通信的作用则更为突出。在现代战争中,部队的机动性大大提高,尤其在野战条件下,部队经常移动,因此移动通信已成为战术单位的必不可少的指挥手段。

总之,移动通信发展到今天,作为现代通信领域的一个重要分支,其应用已相当广泛,它是现代政治、经济、军事、文化活动能否高效展开的一个重要环节。随着我国国民经济的发展,可以预料,在今后10~15年内,我国的移动通信事业也必将有大幅度的发展。

第三节 移动通信系统的分类

随着移动通信技术的日趋成熟,应用范围的不断扩大,移动通信系统的类型越来越多,其分类方法也多种多样。按活动范围划分,有海、陆、空三类;按工作方式划分,有单工、半双工和双工三类;按用户性质划分,有军用、民用两类,民用又分公用、专用两类;按服务容量划分,有小容量、中容量和大容量三类等等,这里仅就使用最多的民用陆地移动通信系统,按使用情况提出如下分类方法:

- 公用移动电话系统;
- 调度系统;
- 局部专用系统;
- 无线电寻/呼系统;
- 无绳电话系统;
- 农村移动电话系统。

一、公用移动电话系统

公用移动电话系统是公用电话网的一个组成部分。公用电话网

的用户和无线用户以及无线用户与无线用户之间，经过无线基站均可进行通话。它与公用电话网之间的接续方式已由早期的人工接续发展为自动接续，工作方式只用双工，即收、发用两个频率，无线用户和有线用户一样，能同时发送和接收，而无需使用按键开关。

目前，该系统大致又分为三类，即大区制、小区制和中区制移动电话系统。

大区制系统在其业务区内（业务区半径一般为30公里左右，亦可大至60公里）有一个或多个无线频道，按相等可用频道原则工作。无线频道或者由无线用户利用空闲频道自动搜索系统自动选择，或者（当用户较多时）由基站控制终端利用专用呼叫频道进行分配。

具有相等可用频道的系统，其主要特征是保证所有无线频道的负载相等，因而其频谱利用率比专用频道工作方式的高。

大区制系统的用户容量一般较小，约几十至几百个用户。但随着频率合成技术和多频道共用技术的发展，一个大区也可以容纳几千至一万用户。大区制系统结构如图1-1和1-2所示。当用户较多时，

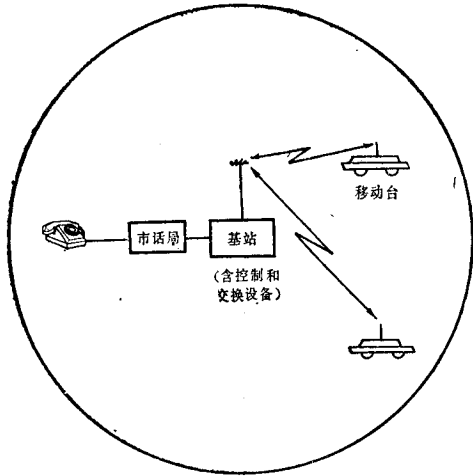


图 1-1 大区制移动通信系统示意图

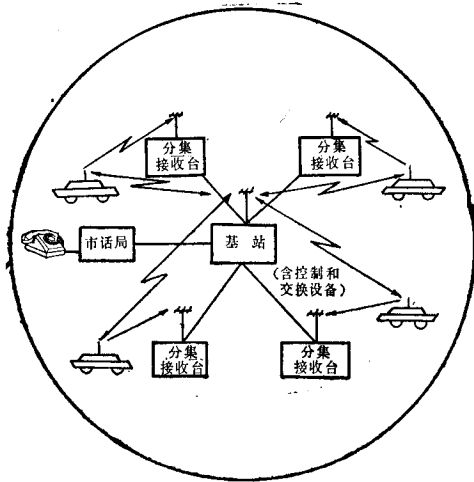


图 1-2 具有分集接收的大区制移动通信系统示意图

图中基站含控制和交换设备，以中继线接入市话网；当用户较少时，图中基站则仅含控制设备（无线用户集中器），以用户线接入市话网。控制和交换设备也可以和基站分开而设在市话局内。

小区制系统是将业务区分成若干蜂窝状小区（基站区），在每个基站区中心（或相互隔开的顶角）设一无线基站，基站区半径为 $1.5 \sim 15 \text{ km}$ ，约每隔 $2 \sim 3$ 个基站区，无线频率就可重复使用。每个基站区的无线基站都与中心控制局或无线交换局相连。当移动台在呼叫或通话过程中，从一个小区转移到另一个小区时，根据移动电话局的指令，可自动转换无线频道。小区制系统属于大容量移动通信系统。美国的 AMPS 就是这种系统，它的最终容量为 100 万用户，系统结构如图 1-3 所示。

介于大区制和小区制之间的一种系统，称为中区制移动通信系统，即每个无线基站的服务半径约在 $15 \sim 30$ 公里之间，但其工作方式 and 小区制基本相同。由于它的容量一般在 $1000 \sim 10,000$ 用户之间，故又称为中容量移动通信系统。