

通信工程丛书

**GSM**  
**数字移动通信工程**

孙孺石 丁怀元 编著  
穆万里 王泽权

人民邮电出版社

# 目 录

<b>第一章 概述</b> .....	1
<b>第一节 移动通信的发展</b> .....	1
一、模拟移动通信系统的现状 .....	1
二、数字移动通信系统的发展 .....	5
三、GSM 及其 MOU .....	9
四、GSM 系统的技术规范及其主要性能 .....	10
五、GSM 系统提供的业务 .....	16
<b>第二节 蜂窝小区系统</b> .....	21
一、蜂窝小区系统的特点.....	21
二、蜂窝小区系统的容量.....	22
三、小区覆盖.....	23
四、无线接口管理.....	25
五、移动性.....	26
六、漫游.....	27
<b>第三节 移动通信技术的发展动向</b> .....	28
<b>第二章 GSM 系统的结构和业务功能</b> .....	33
<b>第一节 概述</b> .....	33
<b>第二节 分系统组成</b> .....	34
一、移动台.....	34
二、基站分系统.....	37
三、交换分系统.....	39
四、操作和维护分系统.....	41
<b>第三节 接口界面</b> .....	45
一、接口和协议.....	45

二、传输层·····	49
三、无线资源管理(RR)·····	50
四、移动性管理(MM)及通信接续管理(CM)·····	50
五、操作维护管理·····	51
<b>第四节 GSM 的业务功能</b> ·····	52
一、电话业务·····	54
二、数字业务·····	54
三、短消息业务·····	61
四、补充业务·····	64
<b>第三章 编码格式和传输技术</b> ·····	70
<b>第一节 概述</b> ·····	70
<b>第二节 无线传输</b> ·····	70
一、语音·····	71
二、非话业务·····	73
三、GSM 内部的传输·····	77
<b>第三节 语音编码</b> ·····	79
<b>第四节 数据传输</b> ·····	83
<b>第五节 无线接口上的模式</b> ·····	90
一、无线接口的结构·····	90
二、空闲模式·····	93
<b>第六节 无线信道的编码</b> ·····	94
一、复路接入方法·····	94
二、信道编码和调制解调·····	108
<b>第四章 GSM 系统的设备</b> ·····	124
<b>第一节 概述</b> ·····	124
<b>第二节 交换分系统设备</b> ·····	127
一、AXE 系统结构·····	128
二、移动交换中心(MSC)/拜访位置寄存器(VLR)·····	138
三、归属位置寄存器(HLR)/鉴权中心(AUC)·····	154

四、设备识别寄存器(EIR) .....	163
<b>第三节 基站分系统设备</b> .....	164
一、基站分系统设备组成与接口 .....	164
二、基站控制器(BSC) .....	171
三、基站收发信站(BTS) .....	191
<b>第四节 移动台设备</b> .....	210
一、射频单元 .....	210
二、基带部分 .....	211
三、控制器 .....	212
四、设备的实现 .....	213
<b>第五节 操作维护分系统设备</b> .....	216
一、对交换分系统设备的操作维护(OMS-S) .....	217
二、对基站分系统的操作维护(OMC-R) .....	222
<b>第五章 信令协议</b> .....	229
<b>第一节 概述</b> .....	229
<b>第二节 链路层</b> .....	232
一、帧结构 .....	232
二、误码检测和纠错 .....	234
三、复用和流量控制 .....	236
四、LAPD 和 LAPDm 帧比较 .....	237
<b>第三节 网络层</b> .....	239
一、BSS 网络层 .....	239
二、NSS 网络层 .....	245
三、附加业务管理的网络层 .....	249
四、点到点短消息网络层 .....	250
<b>第六章 无线资源管理</b> .....	254
<b>第一节 概述</b> .....	254
<b>第二节 无线资源管理功能</b> .....	255
一、RR 子集 .....	255

二、传输管理 .....	256
三、切换操作 .....	258
四、功率控制和时间提前量 .....	260
五、无线信道管理 .....	261
<b>第三节 RR 管理的控制结构和协议 .....</b>	<b>265</b>
一、初始过程:随机接入和初始分配 .....	266
二、寻呼过程 .....	270
三、传输模式与加密模式管理过程 .....	271
四、切换处理 .....	274
五、呼叫重建 .....	277
六、RR 连接释放 .....	278
七、负载管理过程 .....	278
八、SACCH 过程 .....	279
九、频率再定义 .....	280
十、广播消息 .....	280
<b>第七章 移动性管理和通信管理 .....</b>	<b>283</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>283</b>
<b>第二节 移动性管理(MM)功能 .....</b>	<b>284</b>
一、位置管理和小区选择 .....	284
二、位置区划分和结构 .....	287
三、位置更新过程 .....	288
<b>第三节 安全性管理 .....</b>	<b>291</b>
一、安全要求和功能实现 .....	291
二、结构和协议 .....	293
三、信令机构 .....	293
<b>第四节 呼叫控制(CM)功能 .....</b>	<b>296</b>
一、移动站被叫的路由以及对计费的影响 .....	296
二、结构和协议 .....	310
三、移动台主叫建立过程 .....	311

四、移动台被叫建立过程 .....	320
五、查询过程 .....	324
六、呼叫释放 .....	326
七、通信中的在线功能 .....	327
<b>第八章 业务管理及网络管理</b> .....	<b>334</b>
<b>第一节 概述</b> .....	<b>334</b>
一、通信接续的控制 .....	334
二、通信接续的要素 .....	335
三、管理功能 .....	339
四、用户的管理 .....	342
<b>第二节 补充业务管理</b> .....	<b>348</b>
一、信令规程 .....	348
二、管理过程 .....	349
<b>第三节 短消息业务的管理</b> .....	<b>351</b>
一、通信结构 .....	352
二、移动台发短消息 .....	353
三、移动台接收短消息 .....	354
<b>第四节 移动台管理</b> .....	<b>358</b>
一、移动台型号验证 .....	359
二、移动设备的管理 .....	361
<b>第五节 系统工程和网络运行</b> .....	<b>363</b>
一、小区规划 .....	365
二、小区配置 .....	382
三、网络工程 .....	391
四、网络配置的管理 .....	396
<b>第六节 网管结构和规约</b> .....	<b>402</b>
一、管理网络的结构 .....	402
二、TMN 接口 .....	404
三、通信业务控制协议与操作和维护功能 .....	405

四、BTS 管理规约 .....	406
五、GSM 的 Q3 规约 .....	407
<b>第九章 数字移动通信工程设计及安装</b> .....	<b>412</b>
第一节 概述 .....	412
第二节 系统容量 .....	413
一、容量预测 .....	413
二、设计话务量 .....	414
三、无线信道呼损率 .....	416
四、通信概率 .....	416
五、数字移动通信系统的话务模型 .....	419
六、无线网络规划 .....	422
第三节 GSM 系统的号码计划 .....	423
一、有关建议及规定 .....	423
二、移动用户号码(MSISDN) .....	423
三、国际移动用户识别码(IMSI) .....	424
四、移动用户漫游号码(MSRN) .....	425
五、移动用户临时识别号码(TMSI) .....	425
六、位置识别码 .....	425
七、国际移动台识别号码(IMEI) .....	426
第四节 网络结构和路由计划 .....	426
一、数字 PLMN 网络在通信网中的地位 .....	426
二、数字移动通信的信令网结构 .....	428
三、路由选择 .....	429
第五节 工程设计及安装 .....	432
一、数字移动通信系统工程设计要素 .....	432
二、传输链路 .....	434
三、无线链路的功率平衡 .....	435
四、机房 .....	436
<b>第十章 GSM 系统的技术指标及其测试</b> .....	<b>439</b>

第一节 概述	439
第二节 测试条件	440
一、正常测试条件	440
二、极限测试条件	440
三、震动条件	441
四、其它测试条件及规定	441
第三节 发信机技术指标及其测试	443
一、平均载频功率	443
二、发信载频包络	448
三、发信机的射频功率控制	452
四、射频输出频谱	454
五、杂散辐射	460
六、互调衰减	466
七、调制、频率误差和相位误差	469
第四节 收信机技术指标及其测试	471
一、灵敏度	471
二、收信机坏帧指示性能	478
三、可用收信机输入电平范围	479
四、阻塞和杂散响应抑制	481
五、同频干扰抑制	485
六、邻道干扰抑制	488
七、互调响应抑制	491
八、收信机杂散辐射	494
第五节 主要电信业务功能及其测试	496
一、电话业务的传输要求	496
二、发送灵敏度/频率响应	498
三、发送响度评定值	500
四、接收灵敏度/频率响应	500
五、接收响度评定值	501



六、话音失真 .....	502
附录一 GSM 第二阶段技术规范目录 .....	505
附录二 GSM 系统英汉缩略语词汇 .....	534
附录三 GSM 主要功能简要描述 .....	541
附录四 有关 GSM 部分国际标准 .....	575
参考文献 .....	580

# 第一章 概 述

在过去的十年,世界电信发生了巨大而深刻的变化。数字程控交换技术的普遍使用,综合业务数字网的开发成功,以及对智能网的研究探索,奠定了个人通信发展的网络基础。移动通信特别是蜂窝小区技术的迅速发展,将为用户彻底摆脱终端设备的束缚、实现完整的个人移动性提供可靠的传输手段和接续方式。而超大规模集成电路和贴片工艺技术的成功发展,又为袖珍式终端设备的制造和推广开辟了美好的前景。无线通信已经摆脱了应急的、辅助的、小容量的旧概念,而跃居成为电信领域中发展速度最快、最受人们欢迎、最灵活方便的先进通信技术的支柱之一。

众所周知,移动通信的主要目的是实现任何时间、任何地点和任何通信对象之间的通信。设想是向用户提供一张像个人身份证一样的唯一通信智能卡,无论在家中、办公室或流动中,都能用这个智能卡借助各类固定的和移动的终端设备实现主叫或被叫通信,它是高级阶段的个人通信,它将成为 21 世纪的主要通信手段之一。

## 第一节 移动通信的发展

### 一、模拟移动通信系统的现状

尽管陆地移动通信的发展最早可以追溯到半个世纪以前,但直到 80 年代中期,随着蜂窝组网技术的完善和大容量系统的出现,陆地移动通信发展才进入高峰阶段。到 1994 年底,全世界模拟移动电

话用户总数已超过 3000 万户,有十多个国家和地区移动电话的普及率超过 3%,其中尤以北欧国家最发达,达 9%以上。图 1·1 所示为近几年来移动电话用户数的发展情况及发展趋势。

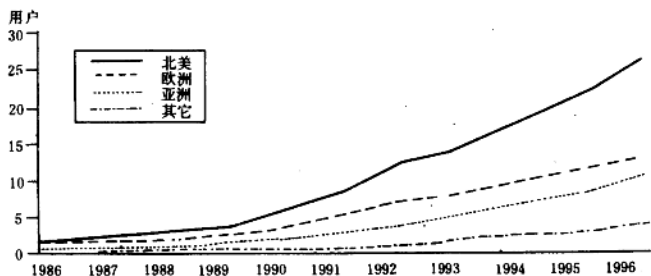


图 1.1 蜂窝电话的发展

目前,世界上正在使用的蜂窝移动通信系统主要制式有:AMP-S、TACS、NMT450/900、C-450、Radiocom-2000、HCMTS 等。以前面三种制式使用最为广泛,用户数占 90%以上。表 1·1 列出了这些系统的主要技术性能一览。

表 1.1 几种模拟移动电话系统主要技术性能

系统 技术名称 特征	AMPS	TACS	NMT		C 网	HCMTS
			450	900		
工作频段 (MHz)	870~890	935~950	463~467.5	935~960	461.3~465.7	870~885
	825~845	890~905	453~457.5	890~915	451.3~455.7	925~940
频道间隔 (kHz)	30	25	25	12.5	20	25
频道总数 (对)	666 (2 个 系统各用 333)	600 (2 个 系统各用 300)	180	1999	222	600

续表

系统 技术名称 特征	AMPS	TACS	NMT		C网	HCMTS
			450	900		
基站有效 辐射功率 (W)	最大100	100	50	100	100	50
移动台发 射功率 (W)	3	7~10	15	车台:6 手持台:1	15	5
基站覆盖 区或小区 半径(km)	2~20	2~20	1~40	0.5~20	2~30	市区:5 郊区:10
音频信号 调制方式	PM	PM	PM	PM	PM	PM
控制信号 调制方式	FSK	FSK	FFSK	FFSK	FSK	FSK
控制信号 码型	曼彻斯特 码	曼彻斯特 码	NRZ	NRZ	NRZ	
信号传输 速率 (kbit/s)	10	8	1.2	1.2	5.28	0.3
有效信息 传输速率 (kbit/s)	0.27~1.2	0.22~ 0.96	约0.46	约0.46	1.82	0.12~ 0.18

续表

系统 技术名称 特征	AMPS	TACS	NMT		C网	HCMTS
			450	900		
编码格式 从基站到 移动台 从移动台 到基站	缩短型 BCH' (63, 51) 重发 BCH (40,28) BCH (48, 36)	缩短型 BCH (63, 51) 重发' BCH (40,28) BCH (48, 36)	B1 型卷积码和哈氏码		BCH(15,7)	缩短型 BCH (63,51) 及 BCH (15, 11); BCH(15,11) - BCH(43, 31) - BCH(11, 7) <sup>2</sup>
系统服务 能力	全国主要 城市	全国主要 城市	全 国		全 国	全国主要城市

1. 根据信息类型,重发5次或11次,采用逐位多数判决(5中取3)。2. 另外为获得非相关性,在公共寻呼信道上,交替发送两组信息码。

鉴于移动通信用户的特殊性,一个移动通信系统不仅应满足区内、越区及越局自动转接频道的功能,还应有处理漫游用户呼叫(包括主被叫)的功能。因此,移动通信不仅希望有一个与公众网之间开放的标准接口,还需要有一个开放的公共空中接口。

移动通信的发展较固定电话网的发展晚得多,因此,移动通信网的构成将离不开固定电话网。第一代模拟移动网的构成方式也有很大差异。例如,北美的 AMPS 系统采用由端局就近入网的构成方式,主要依靠原有的各级长途网连接移动交换中心,其编号容量较少受限制,但信号质量及用户漫游都不易解决。德国和日本的系统由较高级的区域长途中心接入,话音质量较高,处理漫游用户呼叫也较易实现。我国的体制规定就近入网,移动交换中心可以分别接入一、二或三级长途交换中心,但由于编号计划采用了(90R)局号,故总的容量

受很大限制。

在现行的模拟蜂窝移动通信系统中,信道编码大多采用截短 BCH 码。这种码型可以纠正 1 个差错,检出 2 个以上的差错。另外,为了克服多径衰落的影响,在适当提高码速的同时,每个数据采用多次重复发送(5~11 次),接收端按大数判决的原则以降低误码率。

尽管模拟蜂窝移动通信系统还会以一定的增长率在近二三年内继续发展,但它具有下列致命弱点:一是各系统间没有公共接口;二是无法与固定网迅速向数字化推进相适应,数据承载业务很难开展;三是频谱利用率低,无法适应大容量的需求;四是安全保密性差,易被窃听,易做“假机”。这些致命弱点将妨碍其进一步发展,因此模拟蜂窝通信将逐步被数字蜂窝移动通信所代替。当然,在模拟系统中已被证明行之有效的蜂窝小区组网技术仍将在数字系统中得到应用。

## 二、数字移动通信系统的发展

尽管模拟移动通信系统的技术日趋成熟,其用户发展也极其迅速,但它毕竟受其技术的局限,存在一些如上所述的严重缺点。因此,一些发达国家早在 70 年代初就着手考虑数字蜂窝移动通信技术的研究开发。

在 80 年代初期,当模拟蜂窝移动通信系统刚投放市场时,欧洲的电信运营部门就发觉他们的汽车电话远不如他们的高速公路那样畅通,5~6 种模拟移动制式将整个欧洲的蜂窝系统割成四分五裂的状态,根本不能形成快速增长的市场所需求的规模经济。面对这一现状,欧洲电信管理部门(CEPT)于 1982 年成立了一个被称为 GSM (移动特别小组)的专题小组,开始制定使用于泛欧各国的一种数字移动通信系统的技术规范。经过 6 年的研究、实验和比较,于 1988 年确定了包括采用 TDMA 技术在内的主要技术规范并制定出实施计划。从 1990 年开始,这个系统在德国、英国和北欧许多国家投入试运行,尽管实施计划比原定有所推迟,但到 1993 年中期已经取得了相当的成功,吸引了全世界的广泛注意,使 GSM 向着全球移动通信系

统的宏伟目标迈进了一大步。

与欧洲的情况相反,美国从一开始就有了一个统一制式的模拟移动网且已经具有大量的用户,因此美国 FCC 在发展数字移动通信的目标上一开始就着眼于增加容量和数/模兼容上,也就是说尽可能利用现有的模拟网的覆盖,对某些用户密度高的城市采用数字技术增加容量,其规范(TDMA)迟至 1991 年初才最终确认。日本的数字移动系统自成一体,直至 1993 年 1 月才完成其技术规范。表 1.2 列出了目前世界上这三种主要的 TDMA 数字蜂窝移动通信系统的技术性能比较。

表 1.2 三种数字蜂窝移动通信系统的技术性能

系 统	GSM	D-AMPS (IS-S4)	JDC
发射类别—话务信道	271KF7W	40KOG7WDT	32KOG7WDE
—控制信道	271KF7W	40KOGID	32KOGID
发射频段(MHz)			
—基站发	935~960	869~894	810~826(1429~1453)
—移动台发	890~915	824~849	940~956(1477~1501)
双工间隔(MHz)	45	45	130(48)
载频间隔(kHz)	200	30	25/50
射频双工频道总数	124	832	640(960)
基站最大 ERP(W)			
—峰值载波	300	300	未规定
—话务信道平均	37.5	100	
	20~2.5	9~3	3
移动台发射功率(W)	8~1.0	4.8~1.6	2
峰值~平均值	5~0.625	1.8~0.6	0.8
	2~0.25	待定	0.3
小区半径(km) — 最小	0.5	0.5	0.5
— 最大	35(直至 120)	20	20(直至 60)

续表

系 统	GSM	D-AMPS (IS-S4)	JDC
选址方式			
每载频话务信道数	TDMA	TDMA	TDMA
- 初始值	8	3	3
- 设计容量	16	6	6
调制类型	GMSK(BT=0.3)	$\pi/4$ 编码 QPSK (滚降=0.25)	$\pi/4$ 相移 QPSK (滚降=0.5, 均方根式奈奎斯特滤波器)
传输速率(kbit/s)	270.833	48.6	42
信道编码	带有交织和差错检测的 1/2 卷积码	1/2 卷积码	带有 2 时隙交织、差错检测的 9/17 卷积码(语音信道)
话务信道结构			
- 全速率语音编解码			
• 比特率(kbit/s)	13.0	8.0	6.7
• 差错保护	9.8kbit/sFEC + 语音处理	5kbit/sFEC	4.5kbit/sFEC
• 编码规则	RPE-LPT	CELP	VSELP
- 半速率语音编解码	待定	待定	待定
- 数据			
• 初始低速率(kbit/s)	直至 9.6	2.4, 4.8, 9.6	待定
• 其它速率(kbit/s)	直至 12	待定	待定
控制信道结构			



续表

系 统	GSM	D-AMPS (IS-S4)	JDC
—公共控制信道	有(3)	与 AMPS 分享	有
—辅助控制信道	快与慢	快与慢	快与慢
—广播控制信道	有(3)	有	有
时延扩散均衡能力(μs)	20	60	※
越区转接—移动性	有	有	有
—与现行模拟 系统兼容能力	无	在 D-AMPS 与 AMPS 之间	无

※ 无需均衡,但对特定传播环境,均衡器可作任选项,时延扩散不规定。

在 GSM 的协调下,欧洲各国做了大量实验和预研工作,以力求其规范的统一。首先是对一些基本技术取得共识,1986 年欧洲共有近十个公司向 GSM 提出了八种不同的实验系统方案,如表 1·3 所列。并在巴黎进行了现场试验,在试验基础上,对八种系统进行了论证比较。1987 年 GSM 就泛欧数字蜂窝移动通信系统采用窄带时分多址(TDMA)方式、规则脉冲激励—长期预测编码(RPE-LTP)和高斯基带滤波最小频移键控调制方式(GMSK)取得统一,并提出了主要参数。然后着手制订统一的技术规范,第一期规范共十二章近 6000 页,已于 1992 年底冻结,对 GSM 应该实现的基本功能,主要技术性能以及各部分实体间的接口要求都作了规定,第二期规范到 1994 年中也基本完成,对 GSM 应实现的三类业务作了完善。符合第二期规范要求的网络设备和移动台设备将分别于 1994 年/1995 年进入市场。为了进一步完善 GSM 作为移动数据业务的平台,又增加了一个新的研究阶段(称为 phase2+),今后将并入第二期规范中。

关于话音编码方式,GSM 标准制定时是十分慎重的。首先对各种试验系统采用的方式进行验证及主观评分(MOS 评分),然后对硬