

第一章 ETACS 蜂窝系统概述

1.1 蜂窝系统简述

电信的创始人是 1835 年发明发报机及其电码的 S.F.B 莫尔斯。1895 年 意大利的 G. 马可尼成功地完成了无线通信的实用化实验。自那以后, 经许多人的研究发明, 使通信技术得到了惊人的发展。

移动通信不是一项很新的技术。昂贵的机载设备已存在 30~40 年了, 但直到 80 年代初蜂窝技术的使用才使其得到快速发展。

世界上所有的蜂窝移动电话系统均起源于美国的贝尔系统。

80~90 年代初, 世界上出现了几种典型的模拟蜂窝移动电话系统。如美国的 AMPS (Advanced Mobile Phone System)、英国的 ETACS、日本的 MCMTS 和 HCMTS、北欧的 NMT 系统。我国使用最多的便是 ETACS(Extended Total Access Communication System, 扩展全接续通信系统) 系统。所有的这些蜂窝系统都是以频率调制的模拟语音传输为基础的, 它们使用 450 MHz 或 900 MHz 附近的频带。

ETACS 蜂窝系统被用于在 890~960 MHz 的频段内提供无线电话服务, 它可比传统的无线电话系统提供更高的呼叫处理能力。

ETACS 系统是英国在吸取其他一些蜂窝系统的优点, 尤其是在美国的 AMPS 系统的基础上发展起来的, 因而该系统更具特色。例如, 采用背景干扰更小的 900 MHz 频段, 信道间隔较小, 在给定的频段内可用信道数较多等。除了信道间指定频率间隔是标准的 25 kHz CEPT 频率间隔外, ETACS 系统与美国的 AMPS 系统很相似。

移动通信系统以双向的无线电收发将公用交换网 (PSTN) 的用户与移动用户接驳起来。由于使用无线电接驳, 所以并无固定电话所有的限制, 这使用户可以一边行走或一边驾车, 一边收发电话。当然, 这取决于移动用户在通话期间是否在适当基站的覆盖范围内。蜂窝电话以 4 种基本形态出现: 车台、便携、手提和个人。

传统的移动电话系统用单一的发射站覆盖一个较大的服务区, 即所谓的大区制覆盖。其通常为单一的基站发射机, 发射功率很大, 且其发射天线架设得很高。由于发射信号相当强, 使得附近的服务区无法复用该服务区的信道, 严重地限制了信道数目。当其系统在全负荷情况下, 增长容量是不可能的。

蜂窝移动电话系统则相反, 把一个大的服务区划分为若干小区, 称作蜂窝小区。蜂窝系统并未提高移动台或基站的发射功率, 而是基于频率复用的概念: 同一个频率可以被相距足够远的几个基站重复使用, 从而加大了系统的容量。于一个蜂窝中使用的频率, 为了避免产生干扰, 只有在一地理上相隔一定距离的蜂窝中才可以再用。蜂窝系统由一系列六边形的蜂窝小区组成 (理论上如此, 实际中为随地理环境的不规则的小区), 每个蜂窝小区的半径为 1~40 km (一般为 5~10 km)。每个小区都有一个中央控制基站, 并包括与分配给此小区信

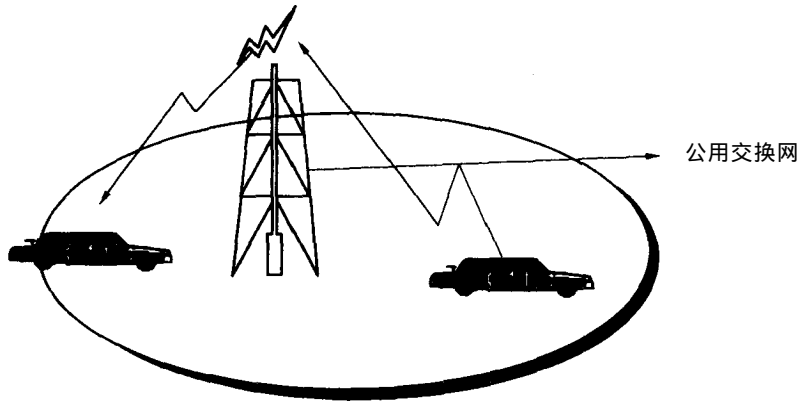


图 1-1 传统移动通信示意图

道有关的各种控制设备。系统中所有蜂窝小区都由专用陆地微波线相互连接，或者由两种线的合成系统与中央控制器（又称交换系统）连接。交换系统负责整个系统的控制，同时也是蜂窝电话用户与陆地网的接口。

FCC（美国联邦通信委员会）定义了蜂窝移动通信系统的 3 个基本参量 高容量、小区和频率复用。

高容量。在理论上，一个蜂窝系统可以被规划和扩展，向无限多的用户提供服务；

② 小区定义为单独的服务区，每个小区有一组独立的信道。一组连续的小区构成蜂窝地理服务区（CGSA），此服务区由一个特定的系统提供服务。一个系统可通过增加小区来扩展服务地区（手机能够打出和接收呼叫的区域由系统经营者规划。由于这是无线系统，所以不能确切地在地图上画出其边界。而且实际的蜂窝网络也不像图 1-2 所示的基本蜂窝结构那样规则地覆盖。在特定的服务区内也可能存在不能通话的盲区）。

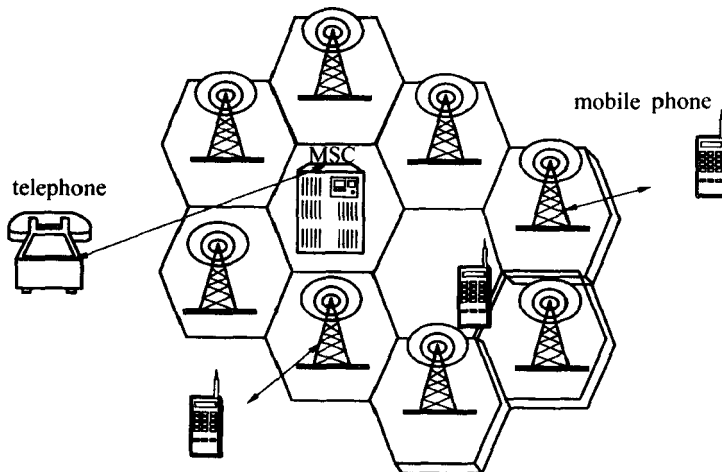


图 1-2 基本蜂窝结构

频率复用使分配给某一小区的独立信道被另一小区使用，这两个小区之间的距离

必须足够远以避免同信道干扰，保证服务质量。

1.2 ETACS 简述

1.2.1 一般简述

ETACS 系统被称为扩展全接续通信系统，是英国仿 AMPS 的一种系统。我国大部分地区都使用这种系统。

按 ETACS 规范组成的移动通信系统是一个 3 级网结构，它分别由移动业务交换中心 (MSC)、基站 (BS) 和移动台 (MS) 3 级构成 (如图 1-3 所示)。

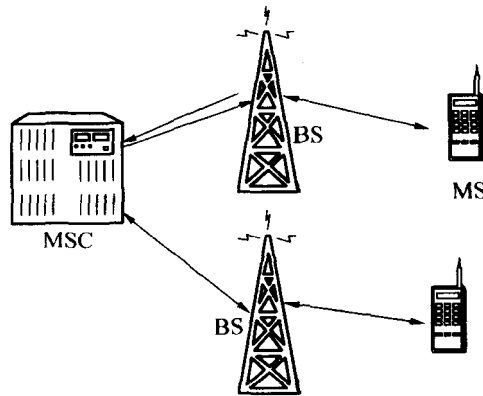


图 1-3 ETACS 蜂窝网 3 级网结构

系统的基本要求包括：好的话音质量，高可靠性，低阻塞和低成本。服务面向车载设备和便携设备。信道被重复使用，以获得最好的频谱效益；增强型登记，允许国内或国际自动漫游，ETACS 提供的一些其他的附加功能，如呼叫转移、留言待取等。

2.2 基站

基站是无线区的核心，它完成交换控制中心和移动台之间的中介工作，实现交换中心对移动台的管理和控制。包括通话和其它信息传输的信号接续以及处理工作。对于具有基站控制器 (BSC) 的基站，它本身就具有对移动台的管理和控制功能。

在模拟蜂窝系统中，就 ETACS 制式而言，其基站有两种基本类型：

简单控制型。在这种基站中，主要由收发信设备和简单控制单元组成。对于简单控制型，全系统的管理和控制功能几乎全部集中于移动交换中心。

智能控制型。在这种基站中，除收发信设备以外，还配有智能型控制器，用来配合移动交换中心管理和控制电话接续、越区切换、通话质量监测等。

我国使用爱立信及摩托罗拉等公司提供的基站设备。其基站机架基本不同。爱立信公司提供的机架分别为 A、B、C、D、E、F 等 6 种类型。其中 A 机架最为复杂，它包括主用控制信道、备用控制信道、信道测试盘、信号强度接收机、功率监测单元、话音信道收发信机及多路耦合器等。而摩托罗拉的基站设备分为 LD 型和 HD 型两种。我国多使用 LD 型。它共

有 10 个双向信道,其中 8 个作语音信道,2 个作控制信道。当基站信道需求增加时则增加机架(增加一个机架则增加 10 个信道)。基站发信机天线常采用 1 副无方向性天线,收信机天线则常采用 2 副无方向性天线。

在一些智能型基站中,我们称其控制器为基站控制器(BSC)。基站控制器在移动交换机的配合下,使基站具有以下功能:

为移动用户提供语音信道和控制信道;

配合移动交换中心指定语音信道、进行通话质量监测、越区越局切换控制等;

基站设备监测等。

基站控制器包括小区控制器、信令信道控制器、语音信道控制器以及其他如定向耦合器、功率分配器、环行器等。

1.2.3 移动交换中心

在蜂窝系统中,移动业务交换中心主要有下列作用:

(1)与市话(PSTN)接口;

(2)处理移动用户的呼出与接入;

(3)进行移动用户通话的通路形成、质量管理;

(4)计费及用户参数管理等。

要与移动台进行有效的通信,交换中心必须知道移动台的实时位置。为此,ETACS 系统使用了增强登记技术——位置强迫登记是指基站每隔一定的时间发送一次位置信息,移动台接收后与存储在动态存储器内前一时刻接收的信息进行比较。如果信息相同,则继续接收;如不同,一方面先将动态存储器中的内容冲洗,然后存入新的信息,另一方面,强迫移动台打开发射机,通过基站向移动业务交换中心(MSC)汇报自己新的位置。MSC 接到某个新位置信息后,实时地对该移动台的位置进行修改。所以 MSC 总是知道每个移动台的最近位置信息的。

我国目前使用的移动交换设备多为爱立信、NEC 和摩托罗拉公司的产品,它们分别为 AXE-10、NEAR61 系列和 EMX 系列。

1.2.4 ETACS 的 A、B 系统

ETACS 蜂窝系统频带被分为两个边带,以便使两个独立的蜂窝系统在同地理覆盖区域内并存和竞争。这两个边带被称为 A、B 系统。每个频带占据频谱中可能信道的一半。ETACS 蜂窝系统频谱共有 1320 个信道可用,为了保证漫游能力,信号信道的频率事先分配给其中的部分频带。两个频带及信道定义如下:

1320 条 ETACS 信道分属于两个系统

系统 A 660 条

系统 B 660 条

在每个系统 A 和 B 中,有两类信道:

语音信道 各系统有 639 条语音信道用于语音和数据

控制信道 各系统有 21 条控制信道仅用于传送数据

系统 A 的控制信道编号:23~43; 23 是初始控制信道。

系统 B 的控制信道编号 :323~343; 323 是初始控制信道。

移动台开机后总是从初始信道开始扫描。

蜂窝小区的蜂窝无线电话是由交换系统间接控制。控制中心通过小区基站用特定的控制信道建立话路。控制信道只用于发送和接收基站与蜂窝电话间的数字数据。话音信道用于一个呼叫建立后的语音和信令传输。每个系统的控制信道具有下行控制、选呼和接续信道 3 个主要功能。

下行控制的数据通常含有关于蜂窝系统的基本信息：系统识别码 (System ID) 以及用来发现选呼和接续信道的信道范围等。寻呼信道是空闲蜂窝无线电话占有的位置。当中央控制局接到一个蜂窝无线电话的呼叫时，寻呼信号将占据一个寻呼信道。接续信道用于寻呼和开始一个呼叫，系统和无线电话将使用接续信号，其中包括用双向数据发送器来决定起始话路。在许多系统中，对于一个特殊的蜂窝小区，3 种控制信道功能将由同样的信道完成，复合信道只是高密度通话地区使用。话音信道主要用于通话。蜂窝小区发送的数据（即下行数据）和移动电话发送的数据（即上行数据）是以 8kbit/s 的速率传输的。双音多频 (DTMF) 也在话音信道中传输。

1.2.5 ETACS 蜂窝信号

(1) 信号音 (ST, Signal Tone)

信号音是一个 8 kHz 信号，由移动台在上行话音信道上使用，用以确认从基站发出的各种命令，包括切换、振铃和中途挂机：

振 铃	65 s
切 换	54 ms
中途挂机	终止通话 1.8 s
FM 频 偏	± 6.4 kHz

(2) 音频监控音 (SAT, Supervisory Audio Tone)

通话质量监测技术是通过 3 个监测音的信噪比和对接收信号强度监测实现的。音频监控音 (SAT) 有 3 个频点 :5970 Hz, 6000 Hz, 6030 Hz (典型频偏值为 ± 1.7 kHz)。它由蜂窝小区基站产生，由蜂窝无线电话检查其频率，然后在话音信道 (REVC) 上转发给蜂窝小区站。蜂窝电话用 SAT 证实当一个新话音信道分配后是否转到正确的信道上。当交换系统指示移动电话认识新话音信道时，同时也告知它新信道上的 SAT 频率。蜂窝小区站 SAT 返回信号则用于证实电话是否在分配信道上出现。

SAT 一般有如下几种用途：

降低空闲信道上的 RF 噪音或开放话音通道；

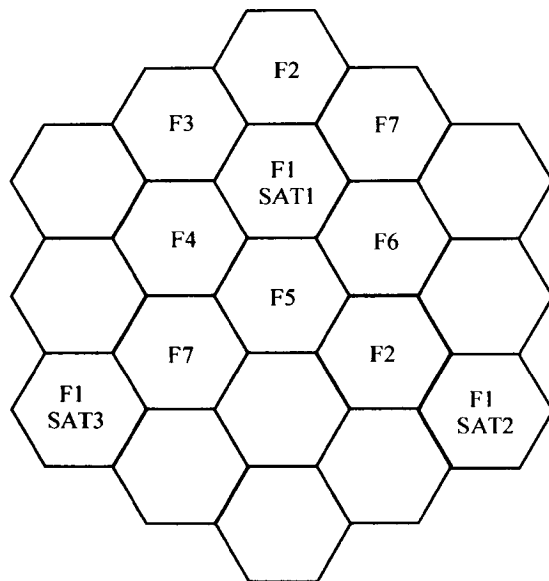
移动台丢失 SAT 超过 5 s 或手持机丢失 SAT 超过 25 s 会造成呼叫终止；

③ SAT 用于信道的复用及防止信道音干扰。

由于这些监测音的频率大致是最高话音频率的两倍，所以将它们从话音频带滤出来是比较容易的。音频监控音 (SAT) 框图如图 1-4 所示。

(3) 数据

数据以 8 kbit/s 速率传送，用于发送系统命令和移动电话识别信息 (典型偏差值为 ± 6.4 kHz)，控制信道只传送数据。数据信号用于切换、功率控制和其他控制功能。



SAT1 = 5970 Hz; SAT2 = 6000 Hz; SAT3 = 6030 Hz

图 1-4 监测音在蜂窝系统中的分布

(4) 音频信号

音频信号包括话音和双音多频 (DTMF) 拨号音。DTMF 从 8 个频率中选出两个频率代表一个数字 (音频最大偏差值为 ± 9.5 kHz)。SAT 和音频一起传送。

SAT = ± 1.7 kHz DATA = ± 6.4 kHz ST = ± 6.4 kHz AUDIO = ± 9.5 kHz

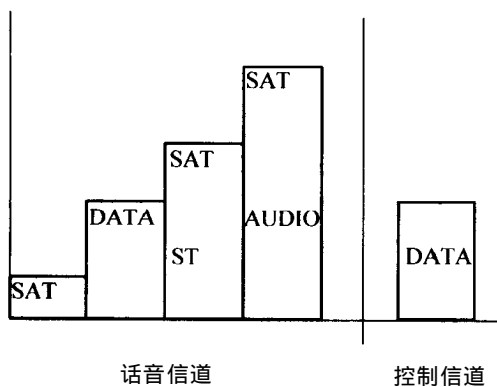


图 1-5 ETACS 蜂窝电话信号调制度 (DEVIATION)

(5) 频率复用

复用的频率上载有不同的音频监测音 (SAT), 基站和蜂窝电话拒收有错误音频监测音的信号。

基站天线架设和发射功率要适当, 以防止干扰邻近小区。

基站监测蜂窝电话的信号强度, 并可控制话机降低发射功率。

在蜂窝系统的频率复用也会用到 SAT, 基站和蜂窝电话拒收有错误 SAT 的信号。在

ETACS 规范中，为防止边带辐射，在同一小区中不使用相邻信道，或者说，在同一小区中不使用相邻频率。

系统的信道频率复用可使同时呼叫的系统容量超过所分配的信道数，但这取决于几个因素，特别是取决于总的小区数。当小区的话务量增长到影响服务质量时，可将小区分裂成较小的小区。

(6)上行数据与下行数据

蜂窝电话是全双工系统。基站和蜂窝电话收信和发信都是同时进行，为避免混淆数据信号传送方向，使用下列术语：

- 下行 (Forward) 数据 由基站传至蜂窝电话的数据
- 上行 (Reverse) 数据 由蜂窝电话传至基站的数据

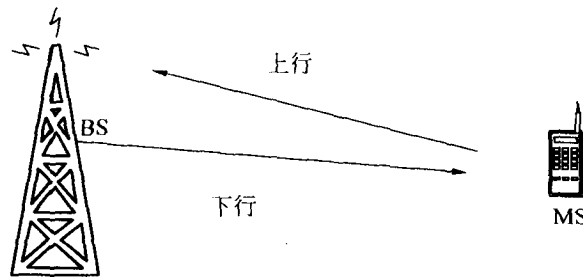


图 1-6 蜂窝电话传输链路

1.3 ETACS 蜂窝电话指标

ETACS 频谱如图 1.7 所示。

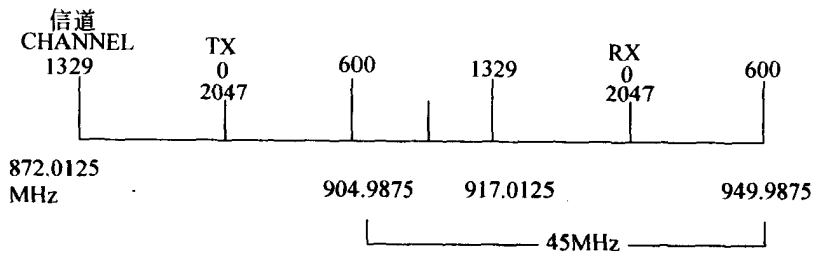


图 1-7 ETACS 频谱

ETACS 共有 1320 条双工信道 (601 条在 TACS 边带 ETACS 附加 719 条信道)
1320 条信道的频率范围：

发射频带 872.0125 ~ 904.9875 MHz

接收频带 917.0125 ~ 949.9875 MHz

1 ~ 600 信道的频率计算：

$$\text{发射频率} = 889.9875 \text{ MHz} + [(\text{信道号}) \times 0.025 \text{ MHz}]$$

接收频率 = 934.9875 MHz + [信道号] × 0.025 MHz]

1329 ~ 2047 信道的频率计算：

发射频率 = 889.9625 MHz - [0.025 × (2047 - 信道号)]

接收频率 = 934.9625 MHz - [0.025 × (2047 - 信道号)]

其他部分参数：

相邻信道选择性：- 55 dB ± 25 kHz

信道间隔 25 kHz

收发频差 45 MHz

频率稳定度 ± 2.5 PPM

音频失真 小于 5% @ 1 kHz, ± 2.3 kHz 频偏

调制方式 F3 ± 9.5 kHz, 100% @ 1 kHz

音频响应 预加重发射时，每倍频程 6 dB，去加重接收每倍频程 6 dB

1.4 ETACS 话机工作简述

1.4.1 进入服务状态

蜂窝电话在第一次打开后，会扫描所有下行控制信道，并检测信号强度。然后进入信号最强的信道，并解译报头信息。从报头信息中电话可以确定它是否在本地系统，以及寻呼和接续需扫描的信道范围。根据用户申请的服务级别，不在本地系统的用户也能够使用其他蜂窝电话系统，蜂窝电话的下一个步骤是在特定的范围内扫描每一个寻呼信道并进入信号最强的信道，在这个信道上，电话继续接收信息和寻呼信息。此时电话空闲，在存储器中不断更新报头信息，并监测寻呼信息中的电话号码。

1.4.2 移动电话主叫

当蜂窝电话开始呼叫时，蜂窝电话重新扫描信道以确定其是否处在最强的信道。在控制信道上发送数据，告知交换系统它的移动台识别码 (MIN) 电子串号 (ESN) 和它所呼叫的号码。交换系统核实流入数据，并分配给蜂窝电话一条话音信道和 SAT。蜂窝电话进入分配的话音信道，并检验正确的下行 SAT 频率的出现。如果 SAT 正确，蜂窝电话将 SAT 转发回蜂窝基站，并开放上行音频信号。蜂窝小区站检查从蜂窝电话来的上行 SAT 并开放下行音频信号。此时上下行音频通道都开放了，蜂窝电话用户可听到回铃声，之后通话即可进行。基站和蜂窝电话不断发送和接收 SAT 但是数据传输时 SAT 不被传送，并且在 VOX (声控操作) 操作期间蜂窝电话不会连续地转发 SAT。需要注意的是，SAT 和信号只在话音信道上使用，并且信号音只由蜂窝电话传送。

1.4.3 移动电话被叫

一部蜂窝电话一旦进入服务状态，会周期性地扫描其存储器里的报头信息，并检测寻呼信息中它的电话号码。当有寻呼时，蜂窝电话扫描每一个接续信息，并进入信号最强的信道。蜂窝电话识别出此接续信道上的寻呼，并把它的蜂窝位置通知中央控制局。交换局分

配给蜂窝电话一条话音信道和一个 SAT。蜂窝电话转入话音信道，核实正确的 SAT 频率的出现，并转发回蜂窝站。在蜂窝站里，SAT 接收中央控制局指示蜂窝电话准予通话，然后一个振铃信号送往蜂窝电话，并有一个 8 kHz 信号应答。用户电话振铃一定次数或直到用户应答。采用 8 kHz 信号音终止来告知中央控制局用户已经应答，交换局即将来话与合适的电路相连，此电路连入蜂窝并与蜂窝电话连接。此时上下行音频通道开通可进行通话。除了数据传输期间，SAT 基站不断地发送和由蜂窝电话转发。VOX 操作时，蜂窝电话不会连续转发 SAT。

1.4.4 切换

如果蜂窝电话的功率是其所使用基站允许的最大值，而基站接收的信号已接近允许的最低值（一般 -100 dBm），基站将通知交换局用户电话需要切换。中央控制局（交换局）将命令周围基站的扫描接收机测量此蜂窝电话的信号强度。信号强度最强的基站就是这个通话切换的地方。

切换的实现是通过含有新话音信道分配的突发数据打断原来的通话进行的。电话由原来的分配话音信道上的 50 ms 8 kHz 信号音确认命令。移动电话释放原话音信道，并转入新分配的话音信道，转发分配的 SAT。新分配的基站告知交换局切换完成，旧话音信道被释放。

需注意的是，这种数据交换十分迅速，例如在 260 ms 之内。不过数据或信号音传输时，音频被关闭，因此通话的一两个音节可能漏掉。通常这不是问题，但在 DTMF 信号期间，如传真、应答器和计算机通信，可能丢掉重要信息，因此建议当蜂窝连接数据接口使用时，应避免切换而引起数据丢失。

1.4.5 终止通话

当电话是由陆线电话用户（非蜂窝电话用户）先结束时，中央控制局（交换局）向用户话机发送一个释放命令。基站发送一个 1.8 s 8 kHz 的信号音，证实释放命令后，蜂窝话机停止发送。

如果电话是由蜂窝电话用户终止时，则话机产生一个 1.8 s 8 kHz 的信号音，向交换局提出电话终止请求。

在这两种情况下，电话终止后，蜂窝电话回到对下行控制信道再扫描的状态，并重复第一次开机时进入服务状态的过程，以再占用一个寻呼信道。

1.4.6 漫游

在蜂窝电话中，系统识别码（SID）用于本地服务区。典型的服务区为一个大城市及其周围的区域。当移动电话进入另一个城市时，它常常进入了一个 SID 不同的服务区。蜂窝电话在非本地系统中仍处于工作状态，不过跨区指示出现了。蜂窝电话跨区时仍可打电话，但为接收电话需要一个特殊的步骤。同时，跨区通话费常高于本地系统通话费。

附录 部分术语汇编

Access 接续

收到呼叫

ASCII

美国标准信息交换码 (American Standard Code Information Interchange)

自动重呼 Auto Recall)

蜂窝电话对库存中自动重呼命令 SEND后的一或两位序码解码，然后进行自动接续电话。

基站(Base Station)

与移动台联系用的射频收发信机 (同时进行一对频点收发的收发信机提供一个单路信道)

BPS

比特/秒 Bits per second)

呼叫转移 (Call Diversion)

即仅当蜂窝电话忙或不应答时，允许用户将来话转移到另一个电话号码上。又称为“无应答转移”(No answer transfer 和“忙/无应答转移”(busy/no answer transfer)。

呼叫计时(Call Timer)

蜂窝电话可以记录全部通话时间。

呼叫等待 call waiting)

允许用户暂时“挂”上一个电话而去接另一个电话的功能。用户可轮流去接这两个电话。

小区 CELL)

一个基站所覆盖的区域。整个 CGSA 由许多小区组成。

蜂窝(Cellular)

指提供无线电话业务的技术。将传统的大服务区进行理论划分，其结构图看起来好像一个个小小的蜂窝，由此而得名。

CGSA

蜂窝状地理覆盖区 Cellular Geographic Service Area)。一个蜂窝的定义由一个频率分配地理组织完成，使得任何号码的电话用户有一固定数量的分配频率。不存在因缺少无线话音通道造成理论上的容量限制。

信道(Channel)

在 RF 电波中的一套特定的发送频率和接收频率。

信道捕捉

指蜂窝移动话机和移动交换局间联系建立的过程。信道捕捉发生在被叫电话振铃前。

压扩器(Compander)

是压缩器和扩展器的组合。在信道的一端有一个用于减小信号幅度范围的压缩器，在另一端相应地有另一个可补偿性地增加信号幅度范围的扩展器。

控制信道 (Control Channel)

用于基站到移动台或移动台到基站间传送控制信息的信道。

串话 (Crosstalk)

指在一个话路中因另一个话路的交叉而引起的多余的声音。

dBm

功率的一个精确测量，以分贝为单位，但以毫瓦为准单位。 $1 \text{ dBm} = 0.001 \text{ W}$ 。

双音多频 (Dual Tone Multi-Frequency)

通过同时发送一级频率中的两个频率组合，从一个电话中发出数字地址信息地方法。

ERP

有效发射功率 (Effective Radiated Power)。

ESN (电子串号)

每一个模拟蜂窝移动电话都有一个特殊的 ESN (electronic serial number)。用户或通过编程都不能获得此号码。

爱尔兰 (Erlang)

是话务量强度的单位。话务量强度为同一时间内电话的平均呼叫次数。

FOCC

下行控制信道 (Forward control channel) 用于从基站至移动台传送信息。

FVC

下行话音信道 (Forward voice channel)。

切换 (Handoff)

维持蜂窝无线电话与蜂窝系统间的一条无线链路的过程。切换发生在蜂窝电话从一个基区进入另一个基区时。基站或移动交换控制中心根据接收信号强度，确定并指示移动台进行切换。

MIN

移动电话识别号码 (Mobile identification number)。是一个 32 bit 二进制数，表示移动台的 10 位电话号码。

NAM (号码分配模块)

电话用户的电子系列号的实际存储单元。

寻呼 (PAGE)

指基站发向移动台一些信息，根据此信息可找出一个特定的移动台与基站连接。移动台证实此寻呼信息后，进入振铃状态。

寻呼信道 (Paging Channel)

用来找出蜂窝电话和发送命令的信道。

RECC

上行控制信道 (reverse control channel)。从移动台向基站发送信息的控制信道。

Roaming (漫游)

在用户的本地系统以外的服务区使用蜂窝电话业务。

RSSI (Received Signal Strength Indicator)

接收信号强度指示，收信机提供给逻辑电路的一个信号。此信号为接收的射频信号强度的函数，用于移动台的越区切换等。

扰频器 (Scrambler)

用来加强话音保密性的设备。扰频器在发送端对语音信号进行编码，使得语音信号不可识别，在接收端对此编码信号进行解码，恢复语音信号。

SID(system identification)

指蜂窝系统的数字识别码，每个系统仅仅一个号码。

VOX

声控发信 (voice operated transmit) 的简称，是电话节电的一种操作方式。

DTX

非连续发送 (Discontinuous transmission)。

第二章 ETACS 蜂窝手机的一般简述

在移动通信中有很多高深而复杂的技术，一般来说，只有一些专家或设计人员才能真正了解。正如维修人员可能了解 ASIC（专用应用集成电路）的电路功能、脚位功能等，但并不一定了解其内部电路结构一样。目前已有许多国外翻译过来的非常专业的移动通信技术方面的书籍。本文只从维修的角度对移动电话作一个简洁的描述，更高层次的需求请参看相关书籍。

ETACS 蜂窝手机是一个工作在双工状态下的收发信机。一部移动电话包括无线接收机(receiver)、发射机(transmitter)、控制模块(controller)及人机界面部分(interface)和电源(Power Supply)。

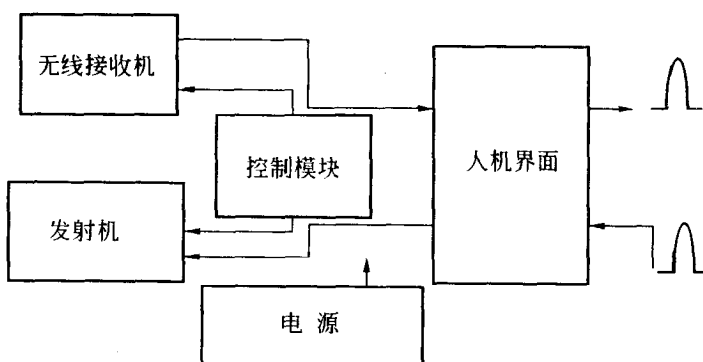


图 2-1 ETACS 手机的一般框图

2.1 接收机

移动通信常采用超外差二次变频接收机。这是因为天线感应接收到的信号十分微弱，而鉴频器要求的输入信号电平较高，且需稳定。放大器的总增益一般需在 120dB 以上。这么大的放大量，要用多级调谐放大器且要稳定，实际上是很难办得到的。另外高频选频放大器的通带宽度太宽，当频率改变时，多级放大器的所有调谐回路必须跟着改变，而且要做到统一调谐，这是难于做到的。超外差接收机则没有这种问题，它将接收到的射频信号转换成固定的中频，其主要增益得自于稳定的中频放大器。

一般超外差二次变频接收机的原理方框图如图 2-2 所示。

它包括天线电路、低噪声放大器(LNA, Low Noise Amplifier)、第一二混频器、中频放大器及解调电路和音频处理电路等。

接收电路将天线感应到的高频已调信号放大，经两级（或一级）变频，将频率很高的射频信号转变成频率较低的带调制信号的固定中频信号。然后解调出原来的调制音频信号或数

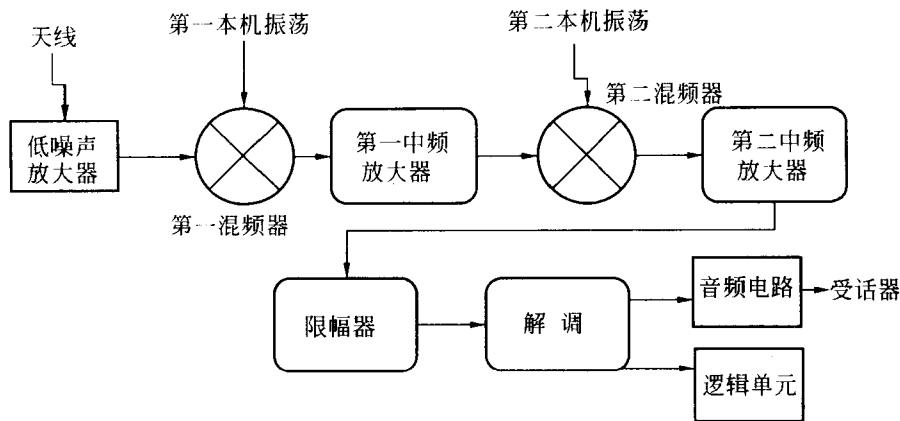


图 2-2 二次变频超外差接收机框图

据信号，并将其送到音频处理电路或逻辑电路，以完成相应的各种功能。

在第二中频输出后，除了对信号进行放大，还要进行必要的限幅等处理，以消除信号传输途中和无线电波在空间传播过程中受到的辐射干扰等。在接收机中需要进行几次变频取决于实际电路的需要。

图 2-3 是诺基亚 232 的接收机部分的框图。

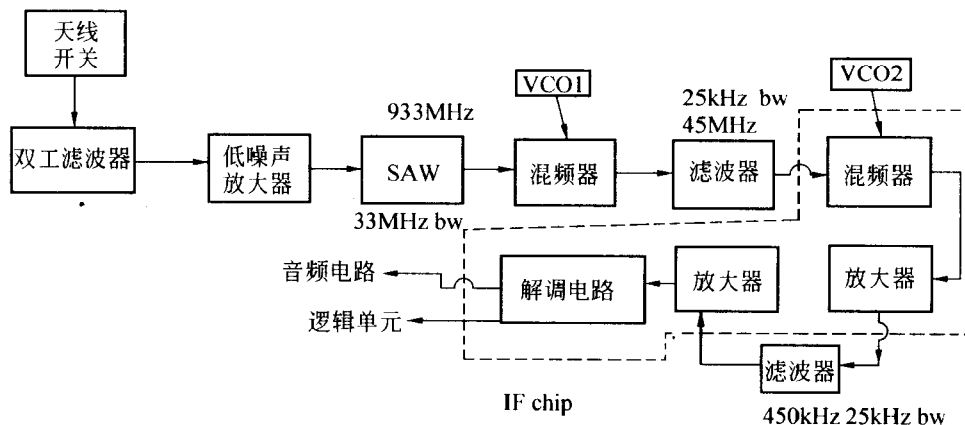


图 2-3 诺基亚 232 接收机部分框图

通过比较，我们可以看出，诺基亚 232 接收机是一个典型的二次变频接收机。第一次变频得到 45 MHz 的第一中频，第二次变频得到 450 kHz 的第二中频。在后面相关的章节中还将详细描述。

2.1.1 天线及天线电路

话机本身的天线一般为螺旋鞭天线或短鞭状天线。移动台的天线具有足够宽的工作频带，它工作于全部的收发信道。基本上所有的蜂窝话机可使用内接和外接天线。由一些电路组成天线开关电路，平时天线开关接通内接天线，当外接天线从手机底部的插口插入时，

控制电路使内接天线与接收机电路断开，将外接天线与接收机电路连通。在一些蜂窝电话机中，天线进来常采用双工滤波器（选频电路）。天线和双工器都是无源器件，它们在电路中的位置如图 2-4 所示。双工器包括发射滤波器和接收滤波器，它们都是带通滤波器。双工器有 3 个端口：公共端天线接口，发射输出端，接收输入端。发射信号总是比接收信号强，而强信号对弱信号有抑制作用，会使接收电路被强信号阻塞，使接收的弱信号被淹没引起接收灵敏度下降。所以接收滤波器阻止发射信号串入接收电路，并拒收天线接收到的接收频段以外的信号。而发射滤波器则拒绝通过发射频率段的噪声功率及发射调和信号等。

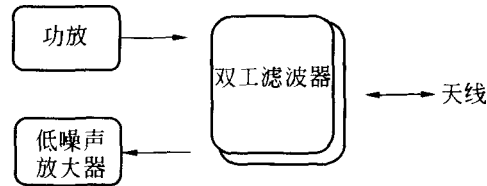


图 2-4 天线与双工器在电路中的位置

自第一个 LC 滤波器问世以来，滤波器已有几十年的历史。随着技术的发展，如今已有许多新型的滤波器。在电路中根据需要使用不同的滤波器，用于移动通信的有晶体滤波器、陶瓷滤波器、开关电容滤波器、微带滤波器及介质谐振滤波器等。按用途分，滤波器又分高通、低通、带通和带阻滤波器。同时滤波器又可分为有源与无源滤波器。移动台尤其是手机的双工滤波器常采用由多个介质谐振器构成的叉指状或梳状介质滤波器。这种滤波器的工作频率高，Q 值很高，选择性好，可由四钛酸钡等无机材料制成。当然，也有一些话机分别使用接收与发射滤波器。

2.1.2 低噪声放大电路 (LNA)

低噪声放大器通常又称为前置射频放大器，它是移动通信收信机最常用的一种小信号放大器。由于此类放大器常用低噪声器件来实现，故又称为低噪声放大器。低噪声放大器的主要性能指标为

- ① 噪声系数 N_f ;
- ② 增益 G ;
- 工作频率范围;
- 通频带;
- 电动态范围等。

在第一级高频放大电路采用低噪声放大器，可以改善接收机的总噪声系数。同时高频放大器还可以防止 RXVCO 信号从天线路径辐射出去。

图 2-5 所示为一般 LNA 的两种形式。图 a 为诺基亚 233 手机的 LNA；图 b 为摩托罗拉 168 手机的 LNA。

双工滤波器的输出信号被送入 V_1 或 V_2 进行放大。 V_1 、 V_2 与周边元件构成一个低噪声放大器，是一个带负反馈的共发射极电路及宽带放大器，用以将微弱的射频信号进行放大并弥补滤波器带来的插入损耗。在图 2-5(a) 中， V_1 的发射极旁路电容 C_2 对该放大器的增

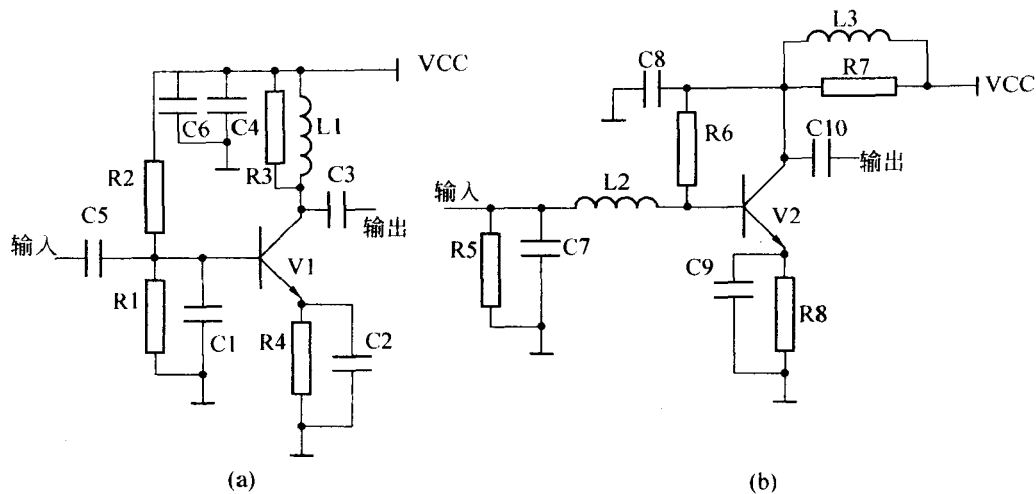


图 2-5 两种 LNA 电路

增益影响很大，它与 R4 一起引入负反馈。该电路中，V1 的直流工作点主要由 R1 和 R2 决定，属固定分压偏置。在图 2-5(b)中，V2 的直流工作点由 R6、R7 决定，为集电极反馈偏置，同时 R6 也是负反馈元件，C9 和 R8 与图 (a) 中的 C2、R4 作用一样。L1 和 L3 为 V1、V2 的集电极负载电感。

实际上 V1、V2 电路是一个宽带高频小信号放大器，用以放大天线感应到的微弱的射频信号。在第一混频器，对输入信号强度有一定的要求，如果达不到这个要求，噪声会急剧增加，信噪比 S/N 急剧下降。

这个高频放大器中的三极管要求截止频率高，放大倍数大，噪声系数小。第一级信号很小，工作点通常设得比较低，同时加电流负反馈，减小噪声。虽然加入负反馈会降低放大器的增益，但就低噪声放大器而言，牺牲一点增益，换取噪声系数降低是值得的。

在低噪声射频晶体管放大器中，从低噪声性能出发，其偏压或偏流的供给都是通过电抗滤波器供给的，这样做可以避免电源噪声和偏置电阻的热噪声引入射频通道，影响放大器的噪声性能。

在低噪声放大器与后级的耦合电路中通常使用的是微带线耦合器，如诺基亚 232 手机的低噪声放大器。

2.1.3 中频放大器 (IF Amplifier)

移动通信接收机均要使用中频放大器。中频放大器最主要的作用是：

获取高增益 与射频放大部分相比，由于中频频率固定，并且频率较低，可以很容易地得到较高的增益，因而可以为下一级提供足够大的输入；

提高选择性 接收机的邻近频率选择性一般由中频放大器的通频带宽度决定。

对于中频放大器，不仅需要得到高的增益、好的选择性，还要有足够的通频带和好的频率响应、大的动态范围等。而接收机的邻近信道选择性一般由中频放大器的通频带宽度决定，由于中频信号为单一的固定频率，所以其通频带可最大限度地做得很小，以提高相邻信

道的选择性。在实际工程上，一般采用多级放大器，并使每级实现某一技术要求。就电路形式而言，第一级中频放大器多采用共发射极电路，最后一级中频放大器多采用射极输出电路。不论接收机采用一次或二次变频技术，中频放大器总是位居下变频之后。

为避免镜频干扰，提高镜频选择性，接收机通常采用降低第一本机振荡频率提高第一中频频率和多次变频的方法，使信号频谱逐渐由射频搬到较低频率上。

在图 2-3 中，我们可以看到中频放大器已经被集成在一块芯片上。目前，已有许多专用中频集成电路，如用于无绳电话的摩托罗拉的 MC3363、MC3335 等。但对于蜂窝电话来说，大多使用各厂家自己的专用芯片。摩托罗拉 9900 和其 168 手机的中频 IC 就各不相同。9900 手机和 168 手机的第一中频分别为 45 MHz、114.6 MHz。

2.1.4 变频器（混频器）

(1) 简述

在移动通信中，常需要将信号频段内某一频率变成另一个频率，以满足电路的需要。变频就是将两个不同的信号（本机振荡信号和信号频率）加到非线性器件上，进行频率组合后取其差频或和频。

超外差接收机的频率变换单元一般有自激式变换器和它激式变换器。

如果本机振荡与混频由同一电路完成，则为自激式变频器。调幅收音机多采用自激式变频器。

如果频率变换和本机振荡信号的产生分别由不同的器件构成，则称其为它激式变频器。所有的手机均采用它激式变频电路，在这种变频电路中，我们称其频率变换单元为混频器。所以变频器与混频器是两个不同的概念。

在图 2-3 中，我们可以看到第一、二混频器的本机振荡信号由压控振荡器 VCO1、VCO2 提供。

当变频器的输出为信号频率与本振信号之和，且比信号频率高时，所用的变频器被称为上边带上变频。如摩托罗拉 8200 系列的发射变频器，其发射中频为 88 MHz，以 60 信道为例，本机振荡信号为 814 MHz。变频后得到 902 MHz 的最终发射信号。

$$814 \text{ MHz} + 88 \text{ MHz} = 902 \text{ MHz} \quad \text{比信号频率 } 88 \text{ MHz} \text{ 高}$$

当变频器的输出信号为信号频率与本振信号之差，且比信号频率高时，所用的变频器被称为下边带上变频。如诺基亚 8110 的发射变频器，其发射中频信号为 116 MHz，其本机振荡信号为 1 018 MHz（60 信道为例）。变频后得到 902 MHz 的最终发射信号。

$$1\ 018 \text{ MHz} - 116 \text{ MHz} = 902 \text{ MHz} \quad \text{比信号频率 } 116 \text{ MHz} \text{ 高}$$

上变频器常用于发射机中，但在模拟蜂窝手机中，发射机的本振常直接工作在发射频率上，采用直接调制（参看后面章节的描述）。

当变频器的输出为信号频率与本振信号之差，且比信号频率低时，所用的变频器为下变频器。下变频器常用于接收机中。

移动通信工作频段宽，移动通信设备的变频电路复杂。在蜂窝手机电路中，变频电路包括混频、基准频率振荡及 VCO 等电路，下面予以讲述。

混频器利用混频器件的非线性来得到我们所需要的信号频率。混频器包括晶体管混频器、场效应管混频器、肖特基势垒二极管混频器以及集成混频器等。