

第3章 电波传播与干扰

内容提要

从移动通信信道设计和提高设备的抗干扰性能考虑，必须研究电波传播与干扰的特性以及它们对信号传输的影响，采取措施提高通信质量。本章将讨论移动通信系统所涉及到的电波传播特性、分集接收技术和噪声与干扰问题。研究电波传播特性和噪声与干扰产生的原因、特性和采取的的必要措施，并研究分集接收技术的分集方式和方法。

无线通信系统的性能主要受到移动无线信道的制约。发射机与接收机之间的传播路径非常复杂，从简单的视距传播，到遭遇各种复杂的地物，如建筑物、山脉和树木等。无线信道具有极度的随机性，甚至移动台的移动速度都会对信号电平的衰落产生影响。在这一章中，我们将主要讨论移动通信所涉及到的电波传播特性及噪声干扰问题和分集接收技术。

3.1 电波传播特性

电波传播的机理是多种多样的，但总体上可归结为反射、绕射和散射。在无线通信系统中，接收机的接收功率随距离而减小的现象被认为是路径损耗。而多数移动通信系统工作在

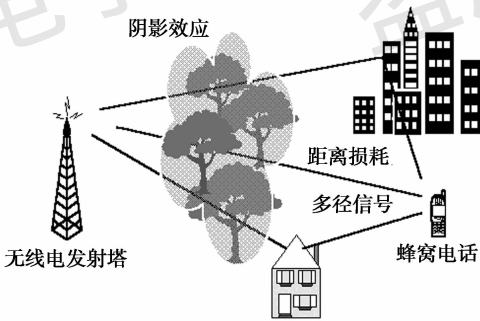


图 3.1 电波传播路径损耗和多径衰落

城區，发射机和接收机之间无直接视距路径，而且高层建筑产生了强烈的绕射损耗。此外，由于不同物体的多路径反射，经过不同长度路径的电波相互作用引起多径损耗，同时随着发射机和接收机之间距离的不断增加而引起电波强度的衰减。如果接收天线在大于几十米或几百米距离上移动的话，使接收信号中的尺度变化被称为阴影效应，这通常是由于树和树叶遮挡产生的。移动通信系统的电波传播路径损耗和多径衰落，如图 3.1 所示。

3.1.1 自由空间传播损耗

自由空间传播系指天线周围为无限大真空时的电波传播，它是理想传播条件。电波在自由空间传播时，其能量既不会被障碍物所吸收，也不会产生反射或散射。实际情况下，传播路径上没有障碍物阻挡，到达接收天线的地面反射信号场强也可以忽略不计，在这样情况下，电波可视作在自由空间传播。对于移动通信系统而言，自由空间传播损耗 L_{fs} 与传播距

离 d 和工作频率 f 有关，可定义为：

$$[L_{fs}] \text{ (dB)} = 32.44 + 20\lg d + 20\lg f \quad (3.1)$$

式中， d ——距离，单位为 km；

f ——频率，单位为 MHz。

从式 (3.1) 我们可得出，传播距离 d 越远，自由空间传播损耗 L_{fs} 越大，当传播距离 d 加大一倍，自由空间传播损耗 L_{fs} 就增加 6 dB；工作频率 f 越高，自由空间传播损耗 L_{fs} 越大，当工作频率 f 提高一倍，自由空间传播损耗 L_{fs} 就增加 6 dB。

3.1.2 电波的三种基本传播机制

在移动通信系统中，影响电波传播的三种基本传播机制是反射波、绕射波和散射波。

1. 反射波

当电波传播遇到比波长大得多的物体时发生反射，反射发生于地球表面、建筑物和墙壁表面等，如图 3.2 所示。

2. 绕射波

当接收机和发射机之间的无线电波传播路径被尖利的边缘阻挡时发生绕射。由阻挡表面产生的二次波散布于空间，甚至于阻挡体的背面。绕射使得无线电波信号绕地球曲线表面传播，能够传播到阻挡物后面。

3. 散射波

当电波穿行的介质中存在小于波长的物体并且单位体积内阻挡体的个数非常巨大时，发生散射波。散射波产生于粗糙表面、小物体或其他不规则物体。在实际移动通信环境中，接收信号比单独绕射和反射的信号要强。这是因为当电波遇到粗糙表面时，反射能量由于散布于所有方向。像灯柱和树木这样的物体在所有方向上散射能量，这就给接收机提供了额外的能量。

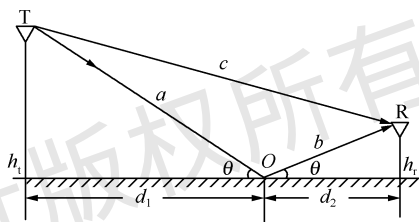


图 3.2 反射波与直射波

3.2 移动信道的特征

移动通信系统常常工作在城市建筑群和其他地形、地物较为复杂的环境中，其传输信道的特性是随时随地而变化的，具有极度的随机性。

3.2.1 传播路径

如图 3.3 所示， h_b 为基站天线高度（一般为 30 m）， h_m 为移动台天线高度。直射波的传播距离为 d ，地面反射波的传播距离为 d_1 ，散射波的传播距离为 d_2 。移动台接收信号的场强由上述三种电波的矢量合成。

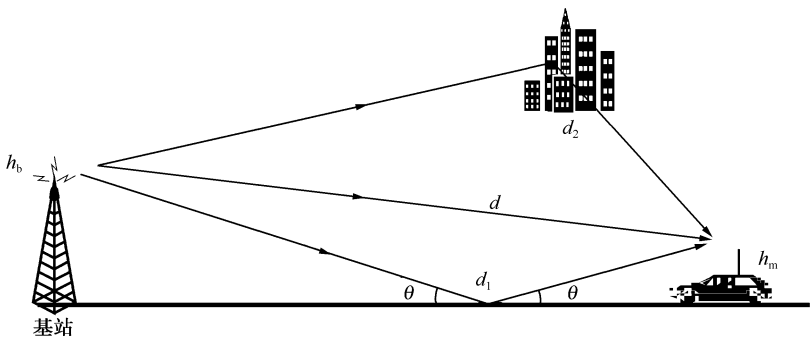


图 3.3 移动信道的传播路径

3.2.2 信号衰落

移动通信接收点所接收到的信号场强是随机起伏变化的，这种随机起伏变化称为衰落。对于这种随机量的研究通常是采用统计分析法。典型信号衰落特性如图 3.4 所示。

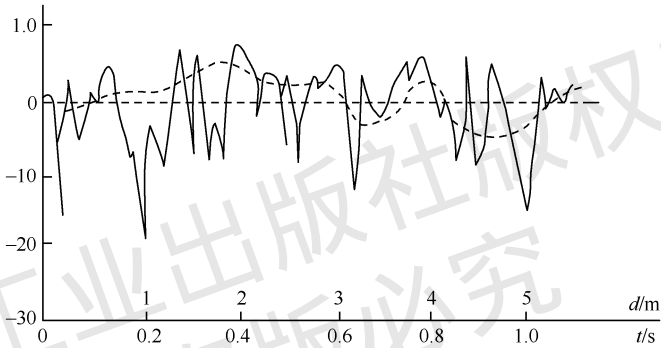


图 3.4 典型信号衰落特性

图中，横坐标是时间或距离（ $d = vt$ ， v 为移动速度），纵坐标是相对信号电平（dB），变化范围为 30 ~ 40 dB。虚线表示的是信号局部中值，其含义是在局部时间中，信号电平大于或小于它的时间各为 50%。由于移动台的不断运动，电波传播路径上的地形、地物是不断变化的，因而局部中值也是变化的。这种变化造成了信号衰落。

移动台接收的信号场强值（dB）是时间 t 的函数。具有 50% 概率的场强值称为场强中值。若场强中值等于接收机的最低门限值，则通信的可通率为 50%。因此，为了保证正常的通信，必须使实际的场强中值远大于接收机的门限值。

3.2.3 地形、地物对电波传播的影响

1. 地形的分类与定义

为了计算移动信道中信号电场强度中值（或传播损耗中值），可将地形分为两大类，即中等起伏地形和不规则地形，并以中等起伏地形作传播基准。所谓中等起伏地形是指在传播径的地形剖面图上，地面起伏高度不超过 20m，且起伏缓慢，峰点与谷点之间的水平距离大于起伏高度。其他地形如丘陵、孤立山岳、斜坡和水陆混合地形等统称为不规则地形。下面

我们来看基站天线有效高度的定义，如图 3.5 所示。

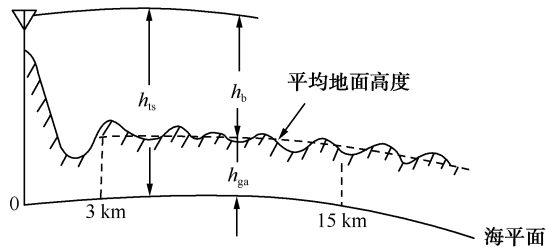


图 3.5 基站天线有效高度 (h_b)

图 3.5 中，若基站天线顶点的海拔高度为 h_{ts} ，从天线设置地点开始，沿着电波传播方向的 3 km ~ 15 km 之内的地面平均海拔高度为 h_{ga} ，则定义基站天线的有效高度为：

$$h_b = h_{ts} - h_{ga} \quad (3.2)$$

若传播距离不到 15 km， h_{ga} 是 3 km 到实际距离之间的平均海拔高度。

移动台天线的有效高度 h_m 总是指天线在当地地面上的高度。

2. 地物（或地区）分类

不同地物环境其传播条件不同，按照地物的密集程度不同可分为三类地区：

(1) 开阔地。在电波传播的路径上无高大树木、建筑物等障碍物，呈开阔状地面，或在 400 m 内没有任何阻挡物的场地，如农田、荒野、广场、沙漠和戈壁滩等。

(2) 郊区。在靠近移动台近处有些障碍物但不稠密，例如，有少量的低层房屋或小树林等。

(3) 市区。有较密集的建筑物和高层楼房。

3. 电波传播的估算

电波传播的估算通常采用 Okumura（奥村）电波传播衰减计算模式和“Cost-2-Walfish-Ikegami”电波传播衰减计算模式。

GSM 900 MHz 主要采用国际无线电咨询委员会（CCIR）推荐的 Okumura 电波传播衰减计算模式。该模式是以准平坦地形大城市区的中值场强或路径损耗作为参考，对其他传播环境和地形条件等因素分别以校正因子的形式进行修正。

GSM 1800 MHz 主要采用欧洲电信科学技术研究联合会推荐的“Cost-2-Walfish-Ikegami”电波传播衰减计算模式。该模式的特点是：对对众多城市的电波实测中得出的一种小区域覆盖范围内的电波损耗模式。

不管是用哪一种模式来预测无线覆盖范围，只是基于理论和测试结果统计的近似计算。由于实际地理环境千差万别，很难用一种数学模型来精确地描述，特别是城区街道中各种密集的、不规则的建筑物反射、绕射及阻挡，给数学模型预测带来很大困难。因此。有一定精度的预测虽可起到指导网络基站选点及布点的初步设计，但是通过数学模型预测与实际信号场强值总是存在差别。关于电波传播估算的具体方法，可查阅有关无线通信和移动通信的书籍，这里就不介绍了。

3.3 分集接收技术

分集接收技术是通信中的一种用相对较低费用就可以大幅度地改进无线通信的性能的有效接收技术，而且适用范围广。它是通过查找和利用无线传播环境中独立的多径信号来实现的。在实际的应用中，分集接收技术的参数都是由接收机决定的。

3.3.1 分集接收原理

分集接收是指接收端对它收到的多个衰落特性互相独立（携带同一信息）的信号进行特定的处理，以降低信号电平起伏的办法。其基本思想是：将接收到的多径信号分离成独立的多路信号，然后将这些多路分离信号的能量按一定规则合并起来，使接收的有用信号能量最大，使接收的数字信号误码率最小。我们可用图 3.6 来对分集接收技术进行简单的说明。

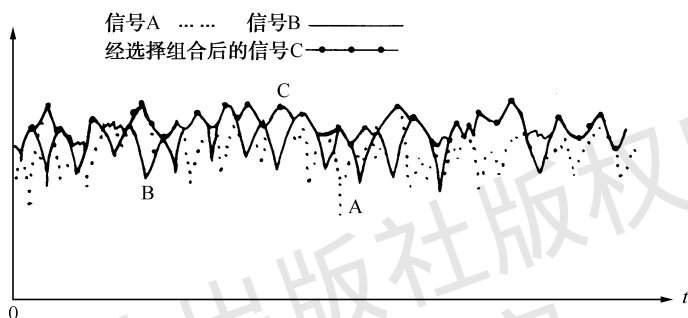


图 3.6 选择式分集合并示意图

图 3.6 中，A 和 B 代表两个同来源的独立衰落信号。如果在任一瞬间，接收机选择其中幅度大的一个信号，则可得到合成信号 C。

分集接收技术包括两个方面：

- (1) 如何把接收到的多径信号分离成独立的多路信号。
- (2) 怎样将这些多路分离信号的能量按一定规则合并起来，使接收的有用信号能量最大；以降低衰落的影响。

3.3.2 分集方式和方法

在移动通信系统中可能用到两类分集方式：一类称为“宏分集”；另一类称为“微分集”。

“宏分集”主要用于蜂窝通信系统中，也称为“多基站”分集。这是一种减小衰落影响的分集技术，其做法是把多个基站设置在不同的地理位置上（如蜂窝小区的对角上）和在不同方向上，同时和小区内的一个移动台进行通信（可以选用其中信号最好的一个基站进行通信）。显然，只要在各个方向上的信号传播不是同时受到阴影效应

或地形的影响而出现严重的衰落（基站天线的架设可以防止这种情况发生），这种办法就能保持通信不会中断。

“微分集”也是一种减小衰落影响的分集技术，在各种无线通信系统中都经常使用。理论和实践都表明，在空间、频率、极化、场分量、角度及时间等方面分离的无线信号，都呈

现互相独立的衰落特性。

微分集方法主要有空间分集、频率分集和时间分集等。分集方法示意图如图 3.7 所示。

1. 空间分集

空间分集的依据在于衰落的空间独立性，即在任意两个不同的位置上接收同一个信号，只要两个位置的距离大到一定程度，则两处所收信号的衰落是不相关的（独立的），如图 3.7 (a) 所示。

2. 频率分集

由于频率间隔大于相关带宽的两个信号所遭受的衰落可以认为是不相关（独立的）的，因此可以用两个以上不同的频率传输同一信息，以实现频率分集，如图 3.7 (b) 所示。这样频率分集需要用两部以上的发射机（频率相隔 53 kHz 以上）同时发送同一信号，并用两部以上的独立接收机来接收信号。它不仅使设备复杂，而且在频谱利用方面也很不经济。

3. 时间分集

同一信号在不同的时间区间多次重发，只要各次发送的时间间隔足够大，那么各次发送信号所出现的衰落将是彼此独立的，接收机将重复收到的同一信号进行合并，就能减小衰落的影响，如图 3.7 (c) 所示。时间分集主要用于在衰落信道中传输数字信号。此外，时间分集也有利于克服移动信道中由多普勒效应引起的信号衰落现象。

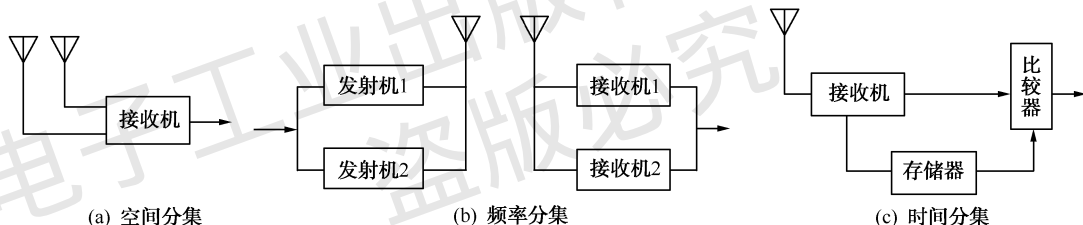


图 3.7 分集方法

3.3.3 合并方式

接收端收到 M 条相互独立的支路信号后，如何利用这些信号以减小衰落的影响，这是合并问题。一般采用线性合并的方式，把输入的 M 路独立衰落信号加权相加后合并输出。

设 M 个输入信号电压为 $r_1(t)$, $r_2(t)$, \dots , $r_M(t)$ ，则合并器输出电压 $r(t)$ 为：

$$r(t) = a_1 r_1(t) + a_2 r_2(t) + \dots + a_M r_M(t) = \sum_{k=1}^M a_k r_k(t) \quad (3.3)$$

式中， a_k ——第 k 个信号的加权系数。

选择不同的加权系数就形成了不同的合并方法。常用的有选择式合并、最大比值合并和等增益合并三种方式。

1. 选择式合并

选择式合并是检测所有分集支路的信号，以选择其中信噪比最高的那一个支路的信号作

为合并器的输出。由上式可见，在选择式合并器中，加权系数 a_k 只有一项为 1，其余均为 0。

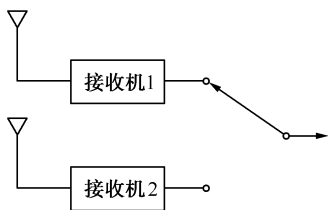


图 3.8 二重分集选择式合并

图 3.8 为二重分集选择式合并的示意图。两个支路的中频信号分别经过解调，然后作信噪比的比较，选择其中有较高信噪比的支路接到接收机的共用部分。分集选择式合并又称开关式相加。这种方式方法简单，实现容易。但由于未被选择的支路信号不被使用，因此抗衰落性能不如最大比值合并和等增益合并方式。

2. 最大比值合并

最大比值合并是一种最佳合并方式，其方框图如图 3.9 所示。为了书写简便，每一支路信号包络 $r_k(t)$ 用 r_k 表示。每一支路的加权系数 a_k 与信号包络 r_k 成正比而与噪声功率 N_k 成反比，即

$$a_k = \frac{r_k}{N_k} \quad (3.4)$$

由此可得最大比值合并器输出的信号包络为：

$$r_R = \sum_{k=1}^M a_k r_k = \sum_{k=1}^M \frac{r_k^2}{N_k} \quad (3.5)$$

式中，下标 R——表征最大比值合并方式。

图 3.9 为最大比值合并方式的示意图。由于在接收端通常都要有各自的接收机和调相电路，以保证在叠加时各个支路的信号是同相位的。最大比值合并方式输出的信噪比等于各个支路信噪比之和。所以，即使当各路信号都很差时，采用最大比值合并方式仍能解调出所需的信号。现在 DSP 技术和数字接收技术，正在逐步采用这种最优的分集方式。

3. 等增益合并

等增益合并无须对各支路信号加权，各支路的信号是等增益相加的，其示意图如图 3.10 所示。

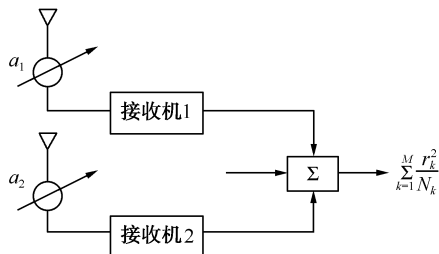


图 3.9 最大比值合并方式

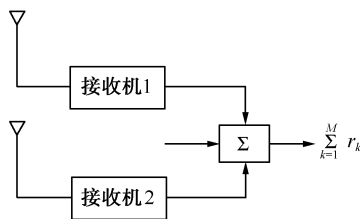


图 3.10 等增益合并方式

这种方式是把各支路信号进行同相后再相叠加，加权时各路信号的权重相等。这样，其性能只比最大比值合并方式差一些，但比选择式合并方式性能要好许多。

3.4 噪声与干扰

信道对信号传输的限制除损耗和衰落外，另一个重要的限制因素就是噪声与干扰。通信

系统中任何不需要的信号都是噪声与干扰。因此，从移动通信系统的性能考虑，必须研究噪声与干扰的特性以及它们对移动通信系统性能的影响。

3.4.1 噪声

移动信道中噪声的来源是多方面的，一般可分为：内部噪声、自然噪声、人为噪声。

内部噪声是系统设备本身产生的各种噪声。不能预测的噪声统称为随机噪声。自然噪声及人为噪声为外部噪声，它们也属于随机噪声。依据噪声特征又可分为脉冲噪声和起伏噪声。脉冲噪声是在时间上无规则的突发噪声，例如，汽车发动机所产生的点火噪声，这种噪声的主要特点是其突发的脉冲幅度较大，而持续时间较短；从频谱上看，脉冲噪声通常有较宽频带；热噪声、散弹噪声及宇宙噪声是典型的起伏噪声。

在移动信道中，噪声影响较大，可分为6种：大气噪声、太阳噪声、银河噪声、郊区人为噪声、市区人为噪声、典型接收机的内部噪声。其中，前5种均为外部噪声。有时将太阳噪声和银河噪声统称为宇宙噪声。大气噪声和宇宙噪声属自然噪声。图3.11为各种噪声功率与频率的关系的示意图。

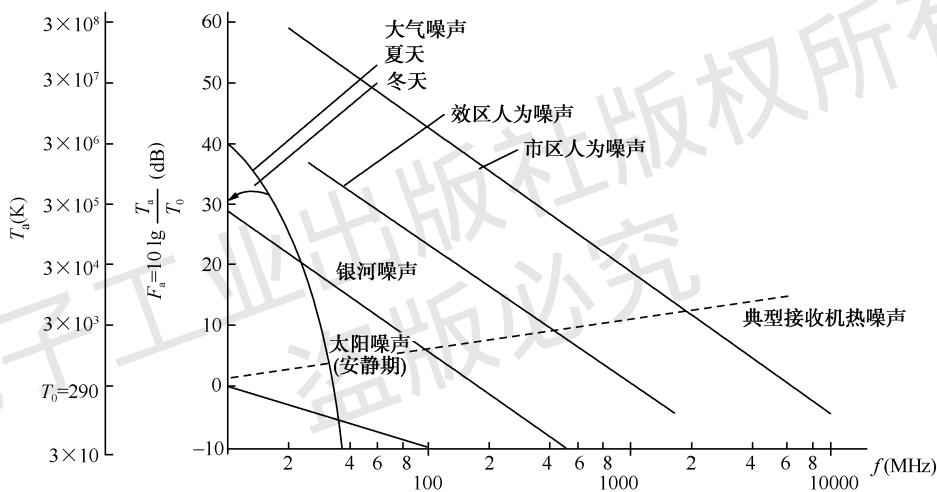


图 3.11 各种噪声功率与频率的关系

在移动通信使用的频率范围内，由于自然噪声通常低于接收机的固有噪声，故可忽略不计。因此，仅需考虑人为噪声。

人为噪声是指各种电气装置中电流或电压发生急剧变化而形成的电磁辐射，诸如电动机、电焊机、高频电气装置、电气开关等所产生的火花放电形成的电磁辐射。

在移动信道中，人为噪声主要是车辆的点火噪声。汽车火花所引起的噪声系数不仅与频率有关，而且与交通密度有关。交通流量越大，噪声电平越高。由于人为噪声源的数量和集中程度随地点和时间而异，因此人为噪声就地点和时间而言，都是随机变化的。图3.12为美国国家标准局公布的几种典型环境的人为噪声系数平均值示意图。

由图3.12可见，城市商业区的噪声系数比城市居民区高6 dB左右，比郊区则高12 dB。

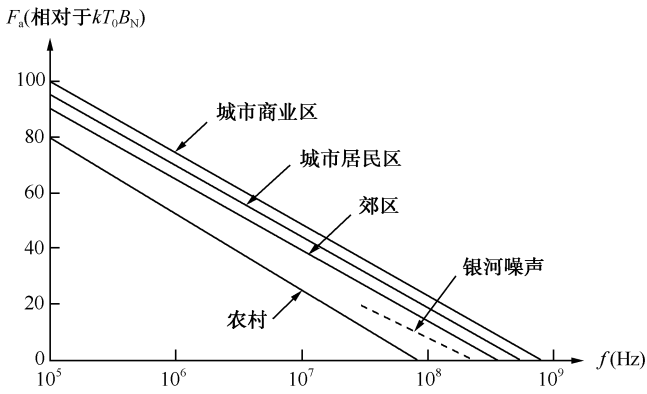


图 3.12 几种典型环境的人为噪声系数平均值

3.4.2 干扰

在移动通信系统中，基站或移动台接收机必须能在其他通信系统产生的众多较强干扰信号中，保持正常的通信。因此，移动通信对干扰的限制更为严格，对接收和发射设备的抗干扰特性要求更高。

在移动通信系统中，应考虑干扰主要有：邻道干扰、同频干扰和互调干扰。

1. 邻道干扰

邻道干扰是相邻的或邻近频道的信号相互干扰。为此，移动无线电通信系统的信道必须有一定宽度的频率间隔。由于考虑到发射机、接收机频率不稳定和不准确造成频率偏差以及接收机滤波特性欠佳等原因，No. 1 频道发射信号的 n_L 次边频将落入邻近 No. 2 频道内，如图 3.13 所示。

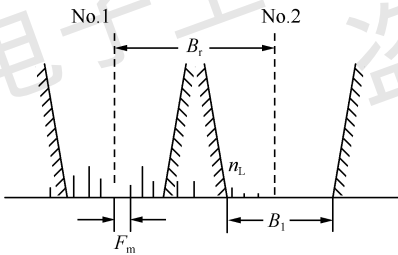


图 3.13 邻道干扰示意图

图 3.13 中调制信号最高频率为 F_m ，信道间隔为 B_r ， B_1 为接收机的中频带宽。图 3.13 中示出最低 n_L 次边频落入邻近信道的情况。

移动通信系统中两个电台在地理上的间隔距离有助于减小信号干扰。但是有一种情况地理上的间隔距离并不利于减小信号干扰，而带来另一种邻近波道干扰。现在我们考虑另一种情况，在基地台覆盖区内有一些移动台在运动，其中有一些移动台距基地台较近，另一些移动台距基地台较远。我们现在设想有两个移动台同时向基地台发射信号，基地台从接近它的移动台 (k 信道) 接收到很强的信号，而从远离它的移动台 ($k+1$ 信道) 接收到的信号很微弱，然而，远离台的信号为需要信号，近距离台的信号为非需要信号，此时，较强的接收信号 (非需要信号) 将掩盖较弱的接收信号 (需要信号)，在解调器输出端弱信号以噪声形式输出，而强信号作为“有用”信号输出，也就是说强的非需要信号 (k 信道) 对弱的需要信号 ($k+1$ 信道) 形成邻道干扰。

为了减小邻道干扰需提高接收机的中频选择性以及优选接收机指标；另一方面要限制发射信号带宽，可在发射机调制器中采用瞬时频偏控制电路，防止过大信号进入调制器产生过大的频偏；在移动台功率方面，应在满足通信距离要求下，尽量采用小功率输出，以缩小服

务区。而大多数移动通信设备都采用自动功率控制，利用移动台接收到的基地台信号的强度对移动台发射功率进行自动控制，使移动台驶近基地台时降低发射功率。还有一些其他减小干扰的方法，如：使用天线定向波束指向不同的水平方向以及指向不同的仰角方向。

2. 同频干扰

同频干扰是指同载频电台之间的干扰。在电台密集的地方，若频率管理或系统设计不当，就会造成同频干扰。

在移动通信系统中，为了增加频谱利用率，有可能有两条或多条信道都被分配在一个相同频率上工作，这样就形成一种同频结构。在同频环境中，当有两条或多条同频波道在同时进行通信时，就有可能产生同频干扰。

移动通信设备能够在同频道上承受干扰（同频干扰）的程度与所采用的调制类型有关。一般情况下，信号强度随着距基地台的距离增大而减弱，但是这种减弱不是均匀的，还与地形和其他因素有关。

为了避免产生同频干扰，应在满足一定通信质量的前提下，选择适当的复用波道的保护距离，这段距离即为使用相同工作频道的各基地台之间的最小安全距离。简称同频道再用距离或共道再用距离。所谓“安全”系指接收机输入端的有用信号与同频道干扰的比值已大于射频频防护比。

射频频防护比是指达到主观上限定的接收质量所需的射频信号与干扰信号的比。

假定各基站与各移动台的设备参数相同，地形条件也是理想的。这样，同频道再用距离只与以下诸因素有关：

(1) 调制制度。达到规定的接收质量，对于不同的调制制度，所需的射频频防护比是不同的。例如，窄带调频或调相，其射频频防护比约为 8 ± 3 dB。

(2) 电波传播特性。假定传播路径是光滑的地平面，路径损耗 L 为：

$$[L] = 120 + 40 \lg d - 20 \lg (h_t \cdot h_r) \quad (\text{dB}) \quad (3.6)$$

式中， d ——收、发天线之间的距离 (km)；

h_t 、 h_r ——分别是发射天线和接收天线的高度 (m)。

(3) 基站覆盖范围或小区半径 r_0 。

(4) 通信工作方式。

(5) 要求的可靠通信概率。

图 3.14 给出了同频道再用距离的示意图。假设基站 A 和 B 使用相同的频道，移动台 M 正在接收基站 A 发射的信号，由于基站天线高度大于移动台天线高度，因此当移动台 M 处于小区的边沿时，易于受到基站 B 发射的同频道干扰。假若输入到移动台接收机的有用信号与同频道干扰之比等于射频频防护比，则 A、B 两基站之间的距离即为同频道再用距离，记为 D 。由图 3.14 可见：

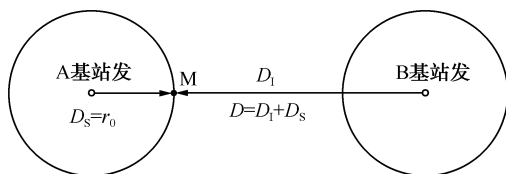


图 3.14 同频道再用距离

$$D = D_1 + D_s = D_1 + r_0 \quad (3.7)$$

式中, D_1 ——同频道干扰源至被干扰接收机的距离;

D_s ——有用信号的传播距离, 即为小区半径 r_0 。

通常, 定义同频道复用系数为:

$$\alpha = \frac{D}{r_0} \quad (3.8)$$

由式 (3.8), 可得同频道复用系数为:

$$\alpha = \frac{D}{r_0} = 1 + \frac{D_1}{r_0} \quad (3.9)$$

为了避免产生同频干扰, 也可采用别的办法, 例如, 使用定向天线、斜置天线波束、降低天线高度、选择适当的天线场址, 可降低同频干扰。在实践中, 频道规划是一项复杂任务, 需要详细考虑有关区域的地形、电波传播特性、调制制式、无线电小区半径和工作方式等。目前已广泛使用计算机分析方法, 可以帮助解决这个复杂课题。

3. 互调干扰

(1) 互调干扰的形成。在无线电通信拥挤的区域里, 当两个或更多个信号加到非线性器件中时, 产生了互调干扰分量, 发射机和接收机都能产生这些干扰分量, 因而互调干扰就成了一个值得注意的问题。这些分量出现在不同的频率上, 而且能在另一些信道上引起干扰。如果干扰和有用信号差不多大小或比有用信号大, 则有用信号就受到严重的干扰。如果干扰比有用的信号弱, 只在没有信号时, 干扰才能被听到。

两个或更多个发射机互相靠得很近时, 每个发射机与其他发射机之间通常通过天线系统耦合, 从每个发射机来的辐射信号进入其他发射机的末级放大器和传输系统, 于是就形成了互调。而这些产物落到末级放大器的通带内并被辐射出去, 这种辐射可能落在除了已指配的发射机频率之外的那些信道上。

互调产物(干扰)也可能在接收机中产生。两个或更多个强的带外信号, 可以推动射频放大器进入非线性工作区, 甚至在第一级混频器中互相调制。这些分量能干扰进来的有用信号或者当工作信道上没有信号的时候, 在输出端能够听到干扰声。

图 3.15 中例子可以用来说明互调产物的影响。发射机和接收机之间处于正常工作状态, 移动台以频率 f_0 与基站 B 通信, 基站 A 产生的三阶互调频率 ($2f_1 - f_2$) 正好等于频率 f_0 , 移动台距基站 A 和基站 B 的距离分别为 d_1 与 d_2 。当两个发射机同时工作时, 基站 A 产生互调频率和有用信号频率一起发射出去将会干扰基站 B 与移动台的通信。因此会对使用频率 f_0 产生干扰。

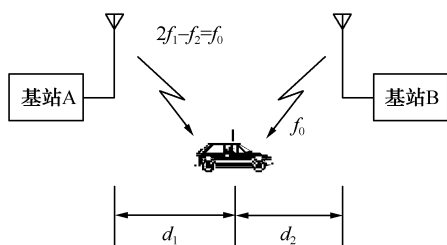


图 3.15 基站发射机互调干扰示意图

互调干扰也可以在接收机上产生。如果有两个或多个干扰信号同时进入接收机高放或混频器, 只要它们的频率满足一定的关系, 则由于器件的非线性特性, 就有可能形成互调干扰。

需注意到移动通信中可能产生多种互调分量; 最值得注意的是奇次谐波, 因为偶次谐波 (2 次、4 次) 远离有效频率, 因此最值得注意的是第三次、第五次谐波。对于一般移动通信系统而言,

- 3.8 什么是分集接收技术？其实现的基本思想是什么？
- 3.9 微分集方法有哪些实现方法？它们各自的特点是什么？
- 3.10 分集接收技术的合并方式有哪些？它们各自有什么优缺点？
- 3.11 哪类噪声对移动信道的的影响最大？
- 3.12 移动通信系统中主要的干扰有哪些？
- 3.13 什么是邻道干扰？如何减小邻道干扰？
- 3.14 什么是同频干扰？它是如何产生的？
- 3.15 什么是同频再用距离？与同频再用距离有关的因素有哪些？
- 3.16 互调干扰是怎样产生的？采用什么方法可减小互调干扰？

电子工业出版社版权所有
盗版必究

第 4 章 移动通信的组网技术

内容提要

要实现移动用户在大范围内进行有序的通信，就必须解决组网过程中的一系列技术问题。本章将讨论构成移动通信网络的组网技术，主要包括区域覆盖方式、区群的构成与激励方式、系统容量与信道（频率）配置、移动通信的网络结构、信令、越区切换和位置管理和多信道共用技术，为后续介绍 GSM 和 CDMA 数字移动通信网以及其他移动通信系统打下基础。

组网是要实现移动通信系统在大范围内有序的通信，而组网过程中必须要解决移动通信的体制、服务区域的划分、区群的构成、移动通信网的组成、信道的结构、接入方式、信令、路由、接续和多信道共用等一系列的问题，才能使网络正常的运行。本章将讨论上述技术方面的问题。

4.1 区域覆盖

4.1.1 区域覆盖的概念

根据服务区域覆盖方式的不同可将移动通信网划分为大区制和小区制。

大区制是指在一个服务区域（一个城市或一个地区）内只设置一个基站，由它负责移动通信的联络和控制。通常基站天线架设的比较高，发射机的输出功率也比较大 25 ~ 200 W，覆盖区域半径一般为 25 ~ 50 km，用户容量为几十至几百个，如图 4.1 (a) 所示。这种方式的优点是组网简单、投资少，一般在用户密度不大或业务量较少的区域使用。因为服务区域内的频率不能重复使用，无法满足大容量通信的要求。

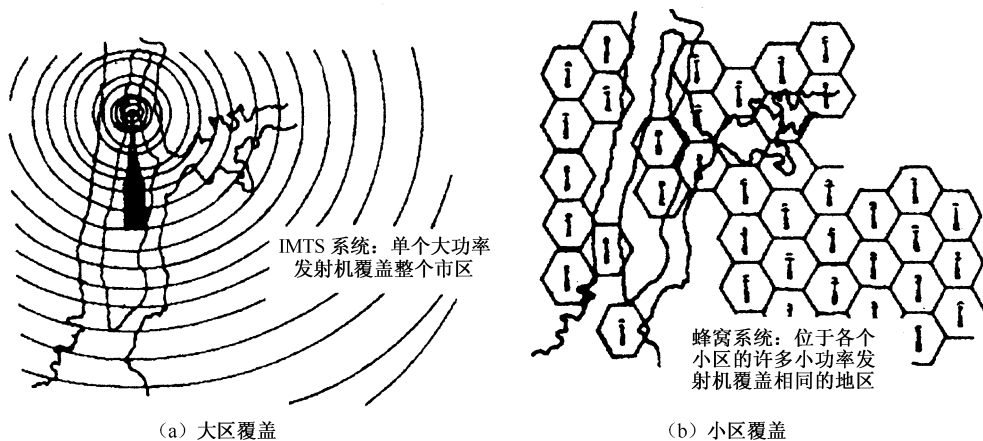


图 4.1 大区覆盖与小区覆盖

小区制是指将整个服务区划分为若干个无线小区（小块的区域），每个小区分别设置一个基站，由它负责移动通信的联络和控制。其基本思想是用许多的小功率发射机（小覆盖区域）来代替单个大功率发射机（大覆盖区域），相邻的基站则分配不同的频率（蜂窝的概念）。每个小区设置一个发射功率为 5 ~ 10 W 的小功率基站，覆盖区域半径一般为 5 ~ 10 km，如图 4.1 (b) 所示。可给每个小区分配不同的频率，但这样需要大量的频率资源，且频谱的利用率低，为了提高频谱的利用率，需将相同的频率在相隔一定距离的小区中重复使用，主要使用相同频率的小区（同频小区）之间的干扰足够小，这种技术称为同频复用，如图 4.2 所示。

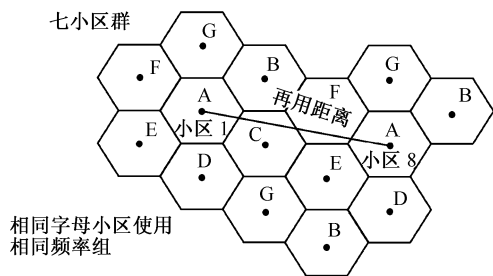


图 4.2 蜂窝系统的频率复用

频率复用是移动通信系统解决用户增多而被有限频谱制约的有效手段。它能在有限的频谱上提供非常大的容量，而不需要做技术上的重大修改。一般来说，小区越小（频率组不变），单位面积可容纳的用户数越多，即系统的频率利用率越高。

当用户数增多并达到小区所能服务的最大限度时，如果把这些小区再分割成更小的蜂窝状区域，并相应减小新小区的发射功率和采用相同的频率复用模式，以适应业务增长的需求。这种过程被称为小区分裂，如图 4.3 所示。小区分裂是蜂窝通信系统在运行过程中为适应业务需求的增长而逐步提高其容量的独特方式。

图 4.4 是蜂窝移动通信系统的示意图。图中七个小区构成一个区群。小区编号代表不同的频率组。小区与移动电话交换局（MTSO）相连。MTSO 在网内负责控制和管理，对所在地区已注册登记的用户实施频道分配、建立呼叫、频道切换、提供系统维护、性能测试和存储计费信息等。它既保证网中移动用户之间的通信，又保证了移动用户和有线用户之间的通信。

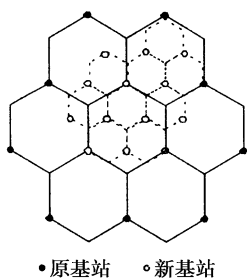


图 4.3 小区分裂示意图

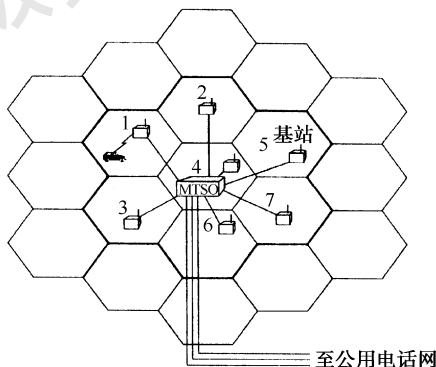
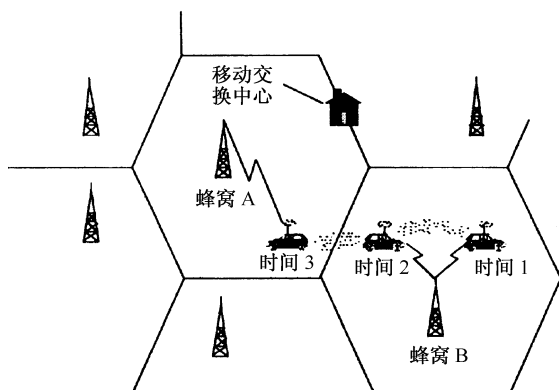


图 4.4 蜂窝移动通信系统的示意图

当移动用户在蜂窝服务区内快速运动时，移动台会从一个小区进入另一个相邻的小区，这时其与基站所用的接续链路必须从它离开的小区转换到正在进入的小区，这一过程称为越区切换，如图 4.5 所示。其控制机理是当通信中的移动台到达小区边界时，该小区的基站能检测出此移动台的信号正在逐渐变弱，而邻近小区的信号正在逐渐变强，系统会收集来自这些基站的信息，进行判决，当需要实施越区切换时，发出相应指令，使越过小区边界的移动台与基站所用的接续链路从离开它的小区切换到正在进入的小区，整个过程是自动完成的，

不会影响用户的通信。



当移动单元从蜂窝 B 越区到蜂窝 A 时，切换在移动交换中心的控制下进行

图 4.5 越区切换示意图

根据服务对象、地形分布及干扰等因素的不同，可将小区制移动通信网划分为带状网和面状网。

4.1.2 带状网

带状网主要用于覆盖公路、铁路、海岸等，其服务区内的用户的分布呈带状分布，如图 4.6 所示。



图 4.6 带状网

带状网基站天线若为有向天线辐射，服务覆盖区为扁圆形的，如图 4.6 (a) 所示。基站天线若为全向天线辐射，服务覆盖区为圆形的，如图 4.6 (b) 所示。

带状网可进行频率复用，可采用不同信道的两个或多个小区组成一个区群，在一个区群内各小区使用不同的频率，不同的区群可使用相同的频率，一般有双频群、三频群或多频群。

从成本和资源利用率而言，双频群最好；但从抗频干扰而言，双频群最差，应考虑三频群或多频群比较有利。

4.1.3 面状网

面状网是指其服务区内的用户的分布呈面状分布。其服务区内小区的划分及组成，取决于电波传播的条件和天线的方向性。实际上一个小区的服务覆盖范围可以是一个不规则形状，但也需要有一个规则的小区形状来用于系统的规划，以适应不断增长的业务需要。因此，当考虑要覆盖整个服务区域而没有重叠和间隙的几何形状时，只有三种可能的选择：正

方形、等边三角形和正六边形。小区的形状如图 4.7 所示。从表 4.1 中我们可知，正六边形所覆盖的面积最大。如果用正六边形作小区覆盖模型，可用最少的小区数量就能覆盖整个服务区域，这样所需的基站数最少，也就最经济；而且，正六边形最接近圆形的辐射模式，基站的全向天线和自由空间传播辐射模式都是圆形的。正六边形构成的网络形同蜂窝，因此把小区形状为六边形的小区制移动通信网称为移动蜂窝网。基于蜂窝状的小区制是目前公共移动通信网的主要覆盖方式。

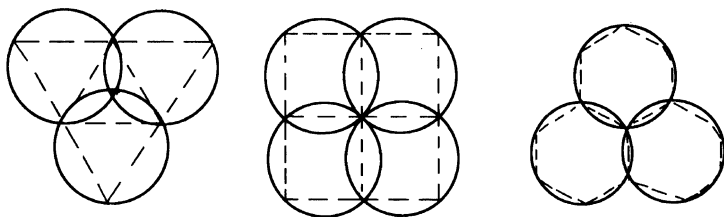


图 4.7 小区的形状

表 4.1 三种形状小区的比较

小区形状	正三角形	正方形	正六边形
邻区距离	r	$\sqrt{2}r$	$\sqrt{3}r$
小区面积	$1.3r^2$	$2r^2$	$2.6r^2$
交叠区宽度	r	$0.59r$	$0.27r$
交叠区面积	$1.2\pi r^2$	$0.73\pi r^2$	$0.35\pi r^2$

4.2 区群的构成与激励方式

4.2.1 区群的构成

蜂窝式移动通信网通常是由若干邻接的无线小区组成一个无线区群，再由若干无线区群构成整个服务区。为了防止同频干扰，要求每个区群中的小区，不得使用相同的频率，只有在不同的区群中，才可使用相同的频率。

区群的组成应满足两个条件：一是区群之间可以邻接，且无空隙无重叠地进行覆盖；二是邻接之后的区群应保证各个相邻同信道小区之间的距离相等。满足上述条件的区群形状和区群内的小区数不是任意的。可以证明，区群内的小区数 N 应满足下式：

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad (4.1)$$

式中， i, j ——正整数。

由此可计算出 N 的取值表如表 4.2 所示。

表 4.2 群区小区数 N 的取值

$j \backslash N \backslash i$	0	1	2	3	4
1	1	3	7	13	21
2	4	7	12	19	28
3	9	13	19	27	37
4	16	21	28	37	48

相应的区群形状如图 4.8 所示。

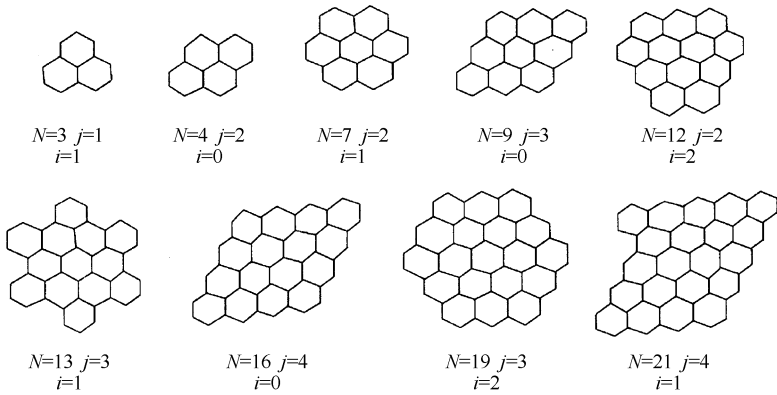


图 4.8 区群的组成

4.2.2 同频（信道）小区的距离

确定同信道小区的位置和距离可用下面的方法。如图 4.9 所示，由某一小区 A 出发，先沿边的垂线方向跨 j 个小区，再向左（或向右）转 60° ，再跨 i 个小区，这样就到达同频（信道）小区 A。在正六边形的六个方向上，可以找到六个相邻同信道小区，所有 A 小区之间的距离都相等。

设小区的辐射半径（即正六边形外接圆的半径）为 r ，则从图 4.9 可以算出同信道小区中心之间的距离为：

$$D = \sqrt{3}r \sqrt{(j+i/2)^2 + (\sqrt{3}i/2)^2}$$

$$= \sqrt{3} (i^2 + ij + j^2) \cdot r = \sqrt{3N} \cdot r \quad (4.2)$$

可见群内小区数 N 越大，同信道小区的距离就越远，抗同频干扰的性能也就越好。例如， $N=3$ ， $D/r=3$ ； $N=7$ ， $D/r=4.6$ ； $N=19$ ， $D/r=7.55$ 。

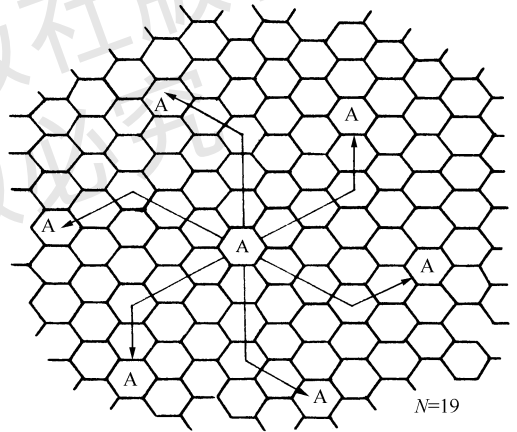
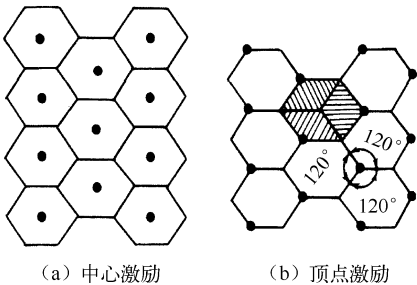


图 4.9 同信道小区的确定

4.2.3 激励方式

当用小区来覆盖范围时，基站发射机可设置在小区的中央，通常用全向天线形成圆形覆盖区，这称为中心激励，如图 4.10 (a) 所示。也可以将基站设置在每个小区六边形的三个顶点上，每个顶点上的基站采用三副 120° 扇形辐射的定向天线，分别覆盖三个相邻小区的各三分之一区域，每个小区由三副 120° 扇形定向辐射天线共同覆盖，这被称为顶点激励，如图 4.10 (b) 所示。



(a) 中心激励 (b) 顶点激励

图 4.10 两种激励方式示意图

采用定向天线后，所接收的同频干扰功率仅为采用全向天线系统的 $1/3$ ，因而可减少系统的同频

干扰。另外，在不同地点采用多副定向天线可消除小区内障碍物的阴影区。

4.3 系统容量与信道（频率）配置

4.3.1 系统容量

通信系统的通信容量可以用不同的表征方法进行度量。就点对点的通信系统而言，系统的通信容量可以用信道效率，即在给定的可用频段中所能提供的最大信道数目进行度量。一般说，在有限的频段中，此信道数目越大，系统的通信容量也越大。对蜂窝通信网络而言，因为信道在蜂窝中的分配，涉及到频率再用和由此而产生的同道干扰问题，因而系统的通信容量用每个小区的可用信道数进行度量比较适宜。每个小区的可用信道数（ch/cell）即为每小区允许同时工作的用户数（用户数/cell）。此数值越大，系统的通信容量也越大。此外，还可用每小区的爱尔兰数（Erl/cell）、每平方公里的用户数（用户数/km²）以及每平方公里小时通话次数（通话次数/h/km²）等进行度量。当然，这些表征方法是互有联系的，在一定条件下是可以相互转换的。

蜂窝移动通信业务区由若干的小区（cell）构成，而许多小区组成若干个区群，由于不同区群在地理位置上有一定的距离，这个距离只要足够大，则可把多个频率按相同方法重复支配给各个区群的小区使用，而不会产生明显的相互干扰现象，这就是蜂窝通信系统通过采用频率再用技术来提高系统容量的方法。蜂窝移动通信系统用总信道数 M 来衡量无线系统频谱效率。 M 值取决于所需的载波—干扰比（ C/I ，简称载干比）和信道带宽 B_c 。因此，蜂窝通信系统的总信道数 M 可定义为：

$$M = \frac{W}{B_c N} \text{ 信道/小区 (ch/cell)} \quad (4.3)$$

式中， W 是分配给系统的总的频谱；

B_c 是信道带宽；

N 是频率重用的小区数。

显然，在蜂窝移动通信系统的总信道数 M 不变的条件下，区群的小区数目越小，分配给各小区的频道数越大，系统的通信容量越大。

对通信系统容量所采用的分析方法，在形式上是结合 FDMA 蜂窝系统进行的，实际上，通信容量的分析，无论对模拟系统或者数字系统，也无论对 FDMA 系统或者对 TDMA 系统，在原理上都是一样的。

模拟蜂窝系统只能采用 FDMA 体制，数字蜂窝系统可以采用 FDMA、TDMA 或 CDMA 中任何一种体制。

1. TDMA 数字蜂窝系统的容量

对于模拟 FDMA 系统来说，如果采用频率重用的小区数为 N ，根据对同频干扰和系统容量的讨论可知，对于小区制蜂窝网：

$$N = \sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{C}{I} \right)} \quad (4.4)$$

即频率重用的小区数 N 由所需的载干比（ C/I ）来决定。可求得 FDMA 的总信道数 M 如下：

$$M = \frac{W}{B_c \sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{C}{I} \right)}} \quad (4.5)$$

对于数字 TDMA 系统来说，由于数字信道所要求的载干比可以比模拟制的小 4 ~ 5 dB (因数字系统有纠错措施)，因而频率复用距离可以再近一些。所以可以采用比 $N=7$ 小的方案，例如 $N=3$ 的方案。可求得 TDMA 体制的总信道数 M 为：

$$M = \frac{W}{\frac{B_c}{n} \sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{C}{I} \right)}} \quad (4.6)$$

式中，设信道带宽为 B_c ，每信道带宽共有 n 个时隙。

一般情况下，在系统的总信道数目不变和每个小区的可用信道数目不变的条件下，其小区半径越小，则单位面积的系统容量越大。但是小区半径的减少是以增加基站数目和以缩短移动台越区切换时间为前提的。

不同的数字蜂窝系统可能使用不同的信道带宽，而各自实用的语音编码、信道编码、调制方式、控制方式等都有可能不同。因此，要客观地比较不同蜂窝系统在通信容量上的差异，还是比较困难和复杂的，需要有比较合理的前提条件，才能得到合理公正的比较结果。

2. CDMA 数字蜂窝系统的容量

CDMA 系统的容量是干扰受限的，而 FDMA 和 TDMA 系统的容量是带宽受限的。因此，决定 CDMA 数字蜂窝系统容量的主要参数是：处理增益、比特能量/信息比特率 (E_b/R_b)、语音负载周期 (即语音激活率)、频率再用效率以及基站天线扇区数。

对于一般扩频通信系统，接收信号的载干比可以写成：

$$\frac{C}{I} = \frac{R_b E_b}{I_0 W} = \frac{\left(\frac{E_b}{I_0} \right)}{\left(\frac{W}{R_b} \right)} \quad (4.7)$$

式中， E_b 为信息 - 比特能量；

R_b 为信息比特率；

I_0 为干扰的功率谱密度；

W 为总频带宽度。

(E_b/I_0) 类似于通常的归一化信噪比 (E_b/N_0)，其取值取决于系统对误比特率或者语音质量的要求，并与系统的调制方式和编码方案有关；

(W/R_b) 为扩频因子，即系统处理增益。

如果 N 个用户共用一个无线信道，显然每一用户的信号都受到其他 $N-1$ 个用户信号的干扰，假设到达一个接收机的信号强度和各干扰强度都相等，则载干比为：

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{N-1} \quad (4.8)$$

或

$$N-1 = \frac{\left(\frac{W}{R_b} \right)}{\left(\frac{E_b}{I_0} \right)} \quad (4.9)$$

若 $N \gg 1$, 即

$$N \approx \frac{\left(\frac{W}{R_b}\right)}{\left(\frac{E_b}{I_0}\right)} \quad (4.10)$$

从式 (4.10) 可得, 在误比特率一定的条件下, 所需归一化信干比 (E_b/I_0) 越小, 系统可以同时容纳的用户数越多。应注意这里所使用的假设条件, 所谓到达一个接收机的信号强度和各干扰强度都相等, 对一个小区而言 (没有邻近小区干扰), 其意思是指当正向传输时, 如果基站向各移动台发送的信号不加任何功率控制, 移动台接收到的信号和干扰就会满足条件。但在反向传输时, 各移动台向基站发送的信号必须进行理想的功率控制, 才能使基站接收机收到的信号和干扰满足条件。换句话说, 式 (4.8) 和式 (4.10) 给出的结果, 对正向传输而言, 是在没有功率控制的条件下得到的; 对反向传输而言, 是在理想功率控制的条件下得到的。因此, 在应用上述公式时, 应根据 CDMA 蜂窝通信系统的特征对公式逐步进行修正。

三种蜂窝通信系统的通信容量比较见表 4.3。

表 4.3 三种蜂窝通信系统的通信容量

模拟 FDMA 系统	TDMA 系统	CDMA 系统
总频带宽度: 1.25 MHz	总频带宽度: 1.25 MHz	总频带宽度: 1.25 MHz
载频间隔: 30 kHz	载频间隔: 30 kHz	扇区分区数 3
信道数目: $1.25 \times 10^6 / 30 \times 10^3 = 41.7$	每载频时隙数: 3	通信容量 120
每区群小区数: 7	信道数目: $3 \times 1.25 \times 10^6 / 30 \times 10^3 = 125$	
通信容量: $41.7 / 7 = 6$	每区群小区数: 4	
	通信容量: $125 / 4 = 31.25$	

以 M 表示通信容量, 三种蜂窝通信系统体制的比较结果可表示为:

$$M_{\text{CDMA}} = 4M_{\text{TDMA}} = 20M_{\text{FDMA}} \quad (4.11)$$

4.3.2 信道 (频率) 配置

为了充分利用无线频谱, 必须要有一个能实现既增加用户容量又减少干扰为目的的信道 (频率) 配置方案。为了达到这些目标已经有各种不同的信道 (频率) 配置分配方法。在 CDMA 系统中, 用户使用相同的频率因而无须进行频率配置。信道 (频率) 配置主要是针对 FDMA 和 TDMA 系统。

信道 (频率) 配置方式就是指将可用频道分成若干组, 若所有可用的信道 N (如 49) 分成 F 组 (如 9 组), 则每组的信道数为 N/F ($49/9 \approx 5.4$, 即有些组的信道数为 5 个, 有些为 6 个。因总的信道数 N 是固定的, 所以分组数 F 越少, 则每组的信道数就越多。在实际应用中, 常采用定向天线进行顶点激励的小区制, 每个基站应配置三组信道, 向三个方向辐射, 每 7 个小区 (7 个基站) 形成一个区群, 每个区群就需有 $7 \times 3 = 21$ 个信道组。同一信道组内的信道最小频率间隔为 7 个信道间隔, 若信道间隔为 25 kHz, 则其最小频率间隔可达 175 kHz, 这样, 接收机的输入滤波器便可有效地抑制邻道干扰和互调干扰。整个区群内各基站信道组的分布如图 4.11 所示。

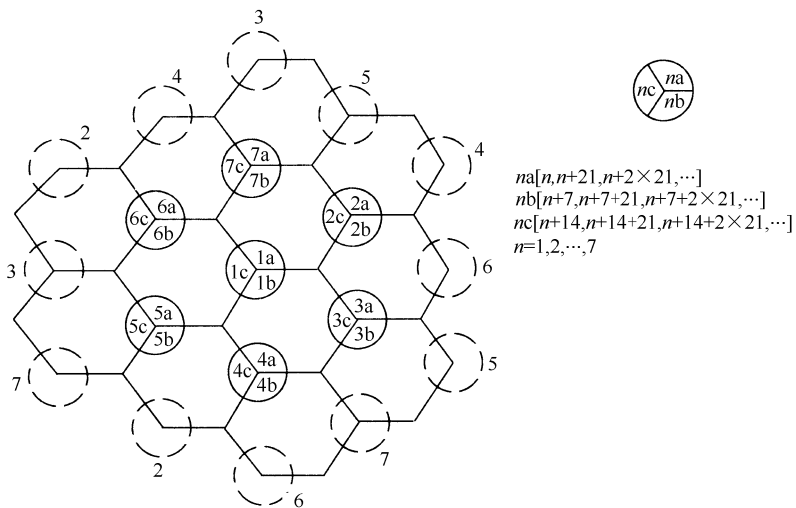


图 4.11 基站信道组分布

我国规定采用 7 个基站 21 个小区的模型，即如图 4.11 所示的结构。

4.4 移动通信的网络结构

4.4.1 基本网络结构

移动通信的基本网络结构如图 4.12 所示。基站（BS）与移动交换中心（MSC）之间、

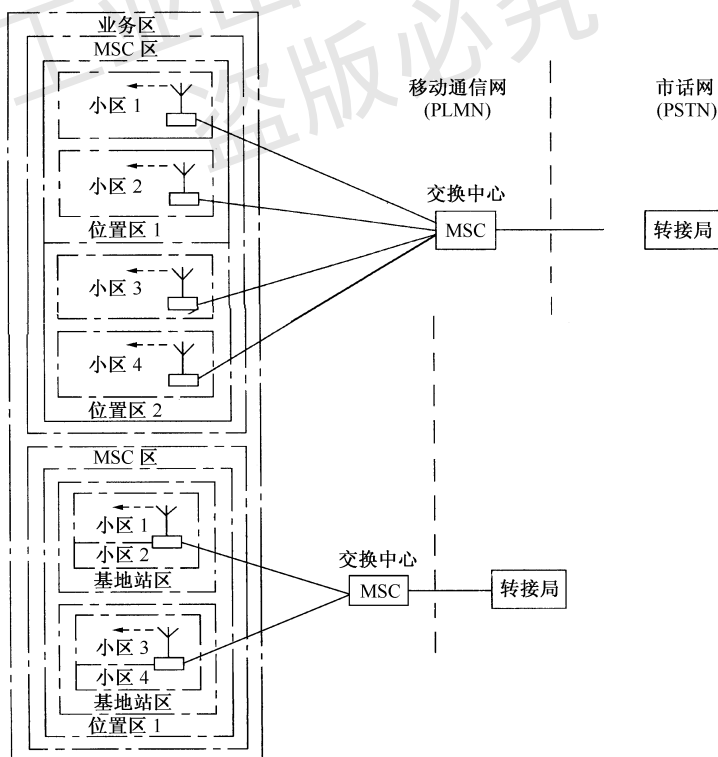


图 4.12 基本网络结构示意图

移动交换中心 (MSC) 与市话网络 (PSTN) 之间可采用有线链路 (如光纤、同轴电缆、双绞线等) 也可以采用无线链路 (如微波链路、毫米波链路等)。其比特率 2.048/8.448/34.368/139.264/565.148 Mbps。

通常每个基站要同时支持 50 路语音呼叫, 每个交换机可以支持近 100 个基站, 交换机到固定网络之间至少需要 5000 个话路的传输容量。

一个移动通信网可由一个或若干个移动交换中心 (MSC) 组成。MSC 为移动业务交换中心, 它是无线电系统与公众电话交换网之间的接口设备, 完成全部必须的信令功能以建立与移动台的往来呼叫。其主要责任是路由选择管理; 计费 and 费率管理; 业务量管理; 向原籍位置寄存器 (HLR) 发送有关业务量信息和计费信息。

一个移动交换中心 (MSC) 可由一个或若干个位置区组成。位置区即移动台位置登记区, 它是为了解决在呼叫移动台时, 以便知道被呼移动台当时所在的位置而设置的。位置区由若干基站组成。

一个基站可由一个或若干个无线小区组成。基站 (BS) 主要由射频部分 (射频架和收发天线)、数据架和维护测试架等几部分组成。基站 (BS) 提供无线信道, 以建立在 BS 覆盖范围内与移动台 (MS) 的无线通道。

移动台 (MS) 主要包括车载台与手机两类。其主要差别功率大小不同。

由一个或若干移动通信网所组成的区域称为业务区。一个业务区的范围可以是一个国家, 或是一个国家的一部分, 也可是若干个国家。

在蜂窝网移动通信系统中, 移动用户与市话用户之间以及移动用户之间建立通话时必须进行自动接续与交换, 完成这种接续与交换的设备称做移动交换设备。典型的蜂窝式移动通信本地网结构如图 4.13 所示。整个业务区可分成若干个移动交换区, 每个移动交换区一般设立一个移动电话局, 也称为移动交换中心 (MSC)。移动交换局内的移动交换设备除了具有一般的程控电话交换机功能外, 还具有移动通信特有的一些功能。例如, 对移动台的识别和登记、频道指配、过境切换处理、漫游和呼叫处理等, 因此, 移动交换设备常由适合移动通信的专用程控交换机组成。移动交换设备也可以在普通程控电话交换机中增加一些软件和硬件, 使它具有控制、接续、交换移动电话的功能。它主要包括交换网络、处理器、数据终端等设备, 并具有丰富的软件。通常软件部分可分为系统操作程序 (如呼叫处理、接续和控制), 设备状态测试和维护程序 (如路由管理、故障检测、诊断和处理), 运行管理程序 (如话务量统计、记录和计数等) 等。

在整个业务区内, 规定一个或若干个移动电话局作为移动汇接局, 以疏通该区域内其他移动电话局的来话、转话业务。在各移动电话 (汇接) 局之间设置通信链路, 以利于移动用户之间和移动用户与固定用户之间的通信业务。

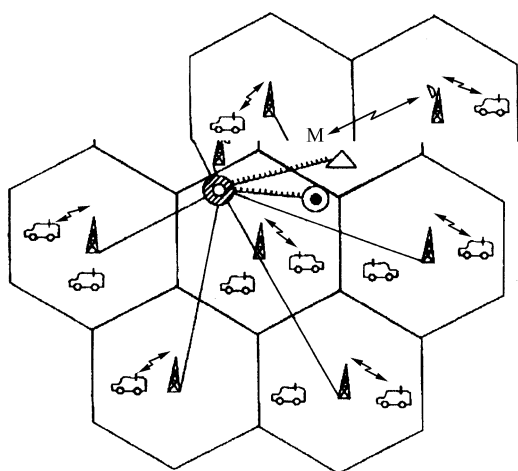


图 4.13 蜂窝式移动通信本地网结构图

4.4.2 移动通信系统的主要功能

移动通信系统应具有下列的主要功能：

(1) 具有与公用电话网进行自动交换的能力。

(2) 双工通信，语音质量接近市话网标准。

(3) 双向自动拨号，包括移动用户与市话用户间的直接拨号以及移动台之间的直接拨号。移动用户可采用预拨号方式，在按“发送”键前不占用链路，可把被叫号码存入寄存器中并在显示屏上显示。

(4) 用户容量大，一个系统一般能为几万个用户提供服务，还能适应业务增加需要，通过小区分裂以扩充容量。

(5) 采用小区制频率再用技术，当基站采用全向天线时，一个区群由 7 个小区组成，频率再用率为 1/7，以尽可能减少邻道干扰。

(6) 具有自动过境切换频道技术，切换时间小于 20 ms。

(7) 设备通用性较强，通常基站、移动台等设备在全国范围内可以通用。

(8) 各地之间可以联网，具有自动漫游功能。

4.4.3 数字蜂窝移动网的网络结构

我国 900 MHz 蜂窝式移动通信网络结构示意图如图 4.14 所示。在蜂窝式移动通信网中，为了便于网络组织和管理，将一个移动通信网分为若干个移动服务区，每个移动服务区一般设一个移动电话局，根据规定，一个或若干个移动电话局作为移动汇接局。移动汇接局一般设在省会城市。各移动汇接局之间通过中继线相连，以实现自动漫游和越区切换，保证移动

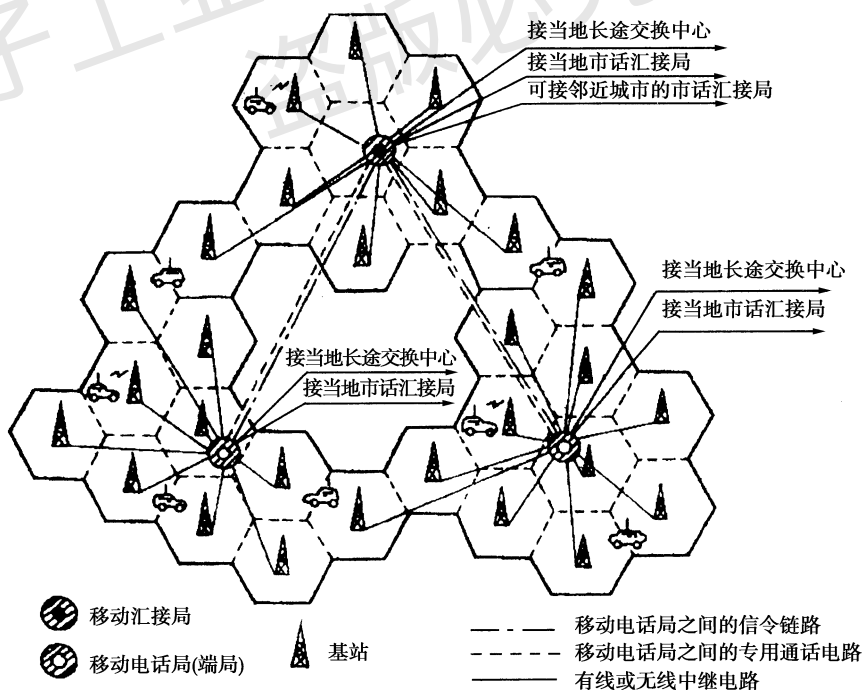


图 4.14 900 MHz 蜂窝式移动通信网络结构示意图

用户在移动蜂窝网内正常的业务。一个蜂窝式移动通信网中移动服务区的多少，取决于移动通信网所覆盖地域的用户密度和地形地貌等。

通常，在一个大型蜂窝网移动电话系统中有若干个移动汇接局，也可称做移动交换中心 (MSC)。其详细的结构示意图，如图 4.15 所示。图中移动交换中心 (MSC) 主要由原籍位置寄存器 (HLR)、访问位置寄存器 (VLR)、设备标志寄存器 (EIR)、认证中心 (AUC) 和操作维护中心 (OMC) 以及接口等部分组成。基站 (BS) 由基站控制器 (BSC) 和基站收发信台 (BTS) 组成。在一个移动服务区内通常设一个移动交换中心 (MSC)，一个 MSC 负责组织和管理一个或若干个无线小区，每个小区内设一个基站 (BS)，各基站通过中继线与移动电话中心 (MSC) 相连，MSC 也通过中继线 (电缆或微波) 与公用交换电话网 (PSTN)、综合业务数字网 (ISDN) 和公用数据网 (PDN) 相连，移动台 (MS) 通过无线方式接入。

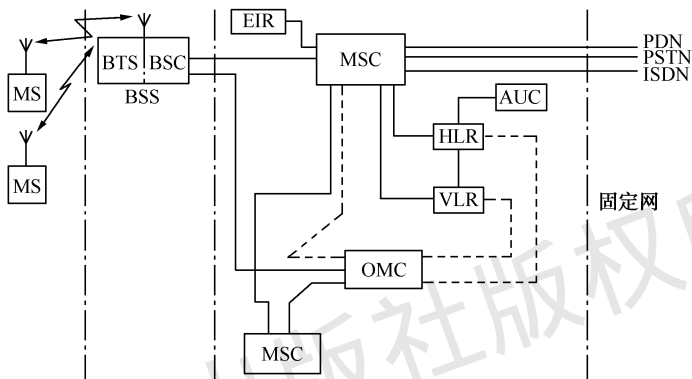


图 4.15 网络结构示意图

移动通信网络是由若干个基本部分组成。为了便于各个部分之间相互交换信息，各部分之间都要用接口进行连接，同一通信网络的接口，必须符合统一的接口规范。这就是接口规范。只要遵守接口规范，任何一家厂商生产的设备都可以用来组网，大大地方便了生产者 and 使用者，为大规模生产和设备的改进提供了便利的条件。

4.4.4 移动通信空中接口协议模型

移动通信的空中接口 (或称无线接入部分) 的协议和信令是按照分层的概念来设计的，空中接口包括无线物理层、链路层和网络层。链路层还可进一步分为介质接入控制层和数据链路控制层。物理层是最低层，如图 4.16 所示。

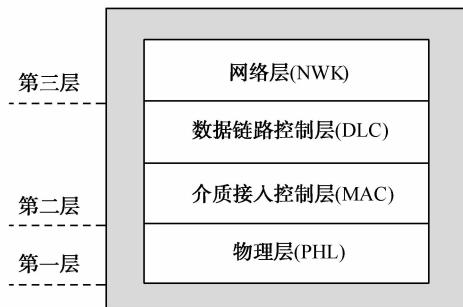


图 4.16 移动通信的空中接口协议模型

物理层 (PHL) 确定无线电参数，如：频率、定时、功率、码片、比特或时隙同步、调制解调、收发信机性能等。物理层将无线电频谱分成若干个物理信道，划分的方法可以按频率、时隙或码字或它们的组合进行，如频分多址 (FDMA)、时分多址 (TDMA)、码分多址 (CDMA) 等。物理层在介质接入控制层 (MAC) 的控制下，负责数据或数据分组的收发。

介质接入控制层（MAC）的主要功能有介质访问管理和数据封装等。具体地讲，第一功能是选择物理信道，然后在这些信道上建立和释放连接；第二个功能是将控制信息、高层的信息和差错控制信息复接成适合物理信道传输的数据分组。介质接入控制层通过形成多种逻辑信道为高层提供不同的业务。

数据链路控制层（DLC）的主要功能是为网络层提供非常可靠的数据链路。控制平面为内部控制信令和有限数量的用户信息提供非常可靠的传输链路，采用标准的链路接入步骤（LAPC）来提供完全的差错控制。在用户平面，提供了一组可供选择的业务，如供语音传输的透明无差错保护的语音业务，具有不同差错保护的支持电路交换模式和分组交换模式数据传输的其他业务。

网络层（NWL）主要是信令层。它确定了用于链路控制、无线电资源管理、各种业务（呼叫控制、附加业务、面向连接的消息业务、无连接的消息业务）管理和移动性管理的各种功能。

4.4.5 信道结构

1. 网络的控制与管理

无论何时，当某一移动用户在接入信道上向另一移动用户或有线用户发起呼叫，或者某一有线用户呼叫移动用户时，移动通信网络就要按照预定的程序开始运转，这一过程会涉及网络的各个功能部件，包括基站、移动台、移动交换中心、各种数据库以及网络的各个接口等；网络要为用户呼叫配置所需的控制信道和业务信道，指定和控制发射机的功率，进行设备和用户的识别和鉴权，完成无线链路和地面线路的连接和交换，最终在主呼用户和被呼用户之间建立起通信链路，提供通信服务。这是一个呼叫接续过程，也是移动通信系统的连接控制（或管理）功能。

系统控制涉及公用市话网、移动电话局、基站和移动台之间的语音和信令的传输与交换，蜂窝系统的控制结构如图 4.17 所示。

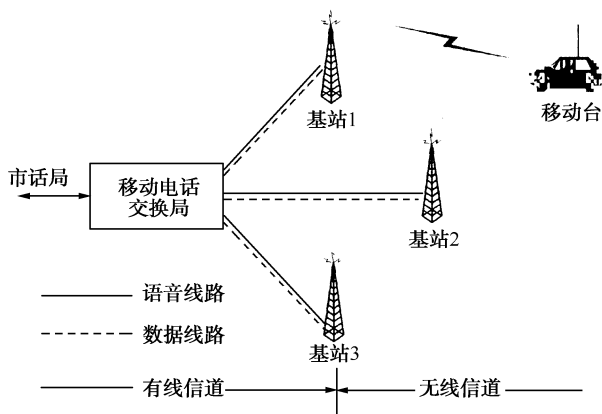


图 4.17 移动通信系统的控制结构

用来从基站向用户传送信息的通道称为下行链路，用来从用户向基站传送信息的通道称为上行链路。

2. 信道类型

移动通信定义了不同的信道，信道定义是根据基站与移动用户之间传递的信息种类的不同而定义的不同的信道。信道有两大类型，称为业务信道（TCH）和控制信道（CCH）。

业务信道（TCH）携带数字化的用户编码语音或用户数据，在上行和下行链路上具有相同的功能和格式进行传播。

(1) 监测音 SAT (Supervisory Audio Tone)。

监测音用于信道分配和对移动用户的通话质量进行监测。当某一语音信道要分配给某一移动用户时，基站（BS）就在前向语音信道上发送 SAT 信号，移动台（MS）检测到 SAT 信号后，就在反向语音信道上环回该 SAT 信号，BS 收到返回的 SAT 信号后，就确认此双向语音信道已经接通，即可通话。

在通话期间，基站（BS）仍在语音信道上连续不断地发送 SAT 信号，MS 不断环回 SAT 信号。BS 根据环回 SAT 的信噪比，不断地与预先设置的信噪比相比较，确定是否需要进行过区频道切换。

每个区群使用其中一个监测音，相邻区群分别使用另外两个监测音。例如，由 7 个小区组成的区群，其监测音的分配如图 4.18 所示。

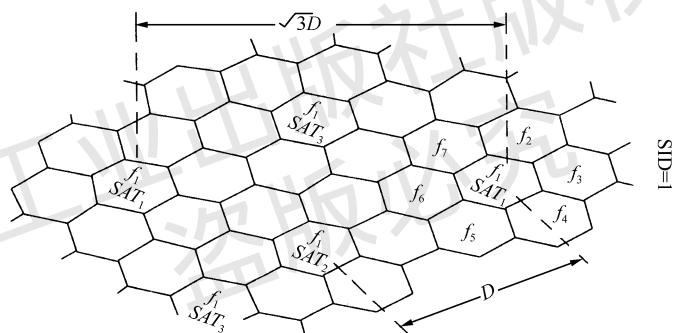


图 4.18 监测音的分配

(2) 信令音 ST (Signalling Tone)。信令音在移动台至基站的上行链路语音信道中传输，它是音频信号。信令音的主要用途如下：第一，当移动台（MS）收到基站（BS）发来的振铃信号时，移动台（MS）在上行链路语音信道上向基站（BS）发送信令音（ST）信号，表示振铃成功，一旦移动用户摘机通话，就停发信令音（ST）信号；第二，移动台在过境切换频道前，在移动交换中心（MSC）控制下，基站（BS）在原来的下行链路语音信道上发送一个新分配的语音信道的指令，移动台（MS）收到该指令后，就发送信令音（ST）信号以表示确认。

根据上述监测音（SAT）和信令音（ST）信号的有无，可以用来判断 MS 处于摘机还是机等状态，如表 4.4 所示。例如，当基站收到移动台环回的监测音（SAT）信号，同时又收到信令音（ST），则表示移动台处于挂机状态；若只收到环回的监测音（SAT）信号，而未收到信令音（ST），则表明此时移动台已摘机。

表 4.4 移动台摘机/挂机信号表

	SAT 收到	SAT 未收到
ST 有	移动台挂机	移动台处于衰落环境中
ST 无	移动台摘机	

控制信道（CCH）在基站和移动站之间传送信令、同步数据和同步指令，主要用于移动台的呼叫控制和接入管理。

移动用户开机并检测控制信道，与相近的基站取得同步。通过接收控制信道的信息，用户将被锁定到系统及适当的控制信道上，当用户主呼时，基站控制信道接收呼叫信息。当用户被呼时，基站控制信道发出主叫用户呼叫信息给被叫用户。双方若能正常通信，基站控制信道会分配业务信道给通信双方，语音信号就会在上行链路和下行链路上传送，呼叫链路成功建立。

4.5 信令

信令含有信号和指令双重意思。它是移动通信系统内部实现自动控制的关键。

在移动通信网中，除传输用户信息（如语音信息）之外，为使整个网络有序地工作，还必须在正常通话的前后和过程中传输很多其他的控制信号，如摘机、挂机和忙音等以及移动通信网中所需的信道分配、用户登记与管理、呼叫与应答、越区切换和发射机功率控制等等信号。这些与通信有关的一系列控制信号称为信令。信令是整个移动通信网的最重要组成部分之一，其作用是保证用户信息有效且可靠地进行传输。移动通信网的性能在很大程度上取决于网络为用户提供服务的能力和質量。

4.5.1 信令类型

对一个公用移动电话网来说，从移动业务交换中心到市话局的局间信令，以及从基站到移动业务交换中心之间的信令都是有线信号，很多与市话局信令一致。这里主要讨论基地站与移动台之间的无线信令。如果从信令的形式分，又可分为模拟信令和数字信令两大类，由于目前移动通信设备多采用数字信令，所以下面主要介绍数字信令。

4.5.2 数字信令

1. 数字信令构成与特点

在传送数字信令时，为了便于收端解码，要求数字信令按一定格式编排。常用的信令格式如图 4.19 所示。

前置码 (P)	字同步 (SW)	信息码 (A或D)	纠错码 (SP)
---------	----------	-----------	----------

图 4.19 典型的数字信令格式

前置码又称位同步码（或比特同步码），其作用是把收发两端时钟对准，使码位对齐，以给出每个码元的判决时刻。通常采用二进制不归零间隔码：10100…并以0作为码组的结束码元。

字同步码又称帧同步码，它表示信息（报文）的开始位，作为信息起始的时间标准，以便使接收端实现正确的分路、分句或分字。通常采用二进制不归零码（NRZ）。目前最常用的码组是巴克码。

信息码是真正的信息内容，通常包括控制、寻呼、拨号等信令，各种系统都有独特规定。

纠错码的作用是检测和纠正传送过程中产生的差错，主要是指纠、检信息码的的差错。因此，通常纠、检错码与信息码共同构成纠、检错编码，所以有时又称纠错码为监督码，以区别于信息码。

2. 数字信令的传输

基带数字信令常以二进制0、1表示，为了能在移动台（MS）与基站（BS）之间的无线信道中传输，必须进行调制。例如，对二进制数据流在发射机中可采用频移键控（FSK）方式进行调制，即对数字信号“1”以高于发射机载频的固定频率发送；而“0”则以低于载频的固定频率发射。不同制式、不同设备其调制方式、传输速率上存在着差异。

数据流可以在控制信道上，也可以在语音信道上发送。它只在调谐到控制信道的任一移动台产生数据报文时才发送信息。

无线通道上语音信道也可以传输数据。但语音信道主要用于通话，只有在某些特殊情况下才发送数据信息。

3. 差错控制编码

数字信号或信令在传输过程中，由于受到噪声或干扰的影响，信号码元波形变坏，传输到接收端后可能发生错误判决，即把“0”误判为“1”，或把“1”误判成“0”。有时由于受到突发的脉冲干扰，错码会成串出现。为此，在传送数字信号时，往往要进行各种编码。通常把在信息码元序列中，加入监督码元的办法称为差错控制编码，也称为纠错编码。不同的编码方法，有不同的检错或纠错能力，有的编码只能检错，不能纠错。一般来说，监督位码元所占比例越大（位数越多），检（纠）错能力就越强。监督码元位数的多少，通常用冗余度来衡量。因此，纠错编码是以降低信息传输速率为代价，来提高传输可靠性的。

4.5.3 信令的应用

电话交换网络由三个交换机（端局交换机、汇接局交换机和移动交换机）、两个终端（电话终端、移动台）以及中继线（交换机之间的链路）、ISDN线路（固定电话机与端局交换机之间的链路）和无线接入链路（MSC至移动台之间的等效链路）组成。固定电话机到端局交换机采用接入信令，移动链路也采用接入信令；交换机之间采用网络信令（7号信令），如图4.20所示。

在移动通信网络中，还有多种类型的信令交换过程。在这里就不一一介绍了。

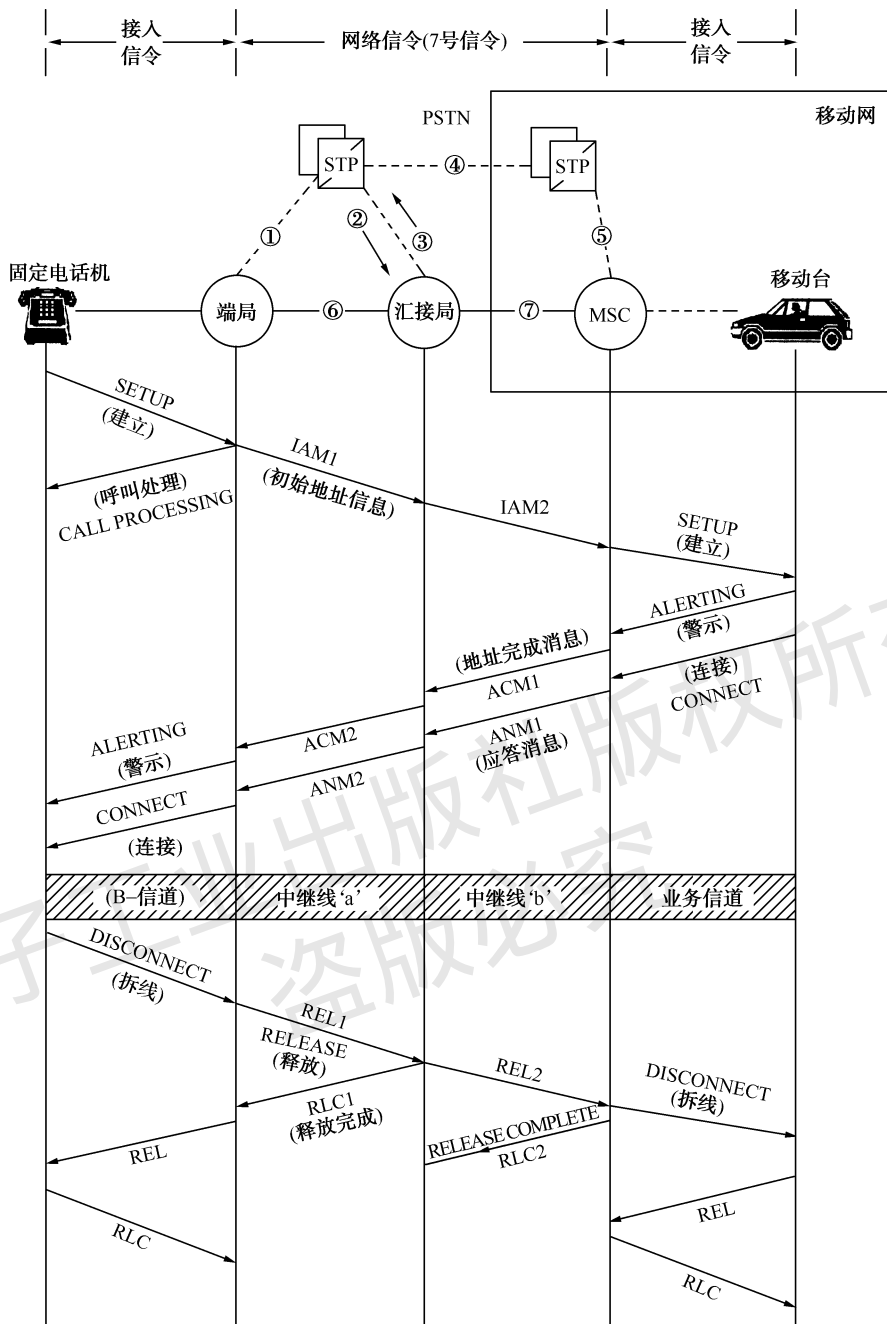


图 4.20 信令应用举例 (呼叫控制)

4.6 越区切换和位置管理

4.6.1 越区切换

越区 (过区) 切换 (Handover 或 Handoff) 是指将当前正在进行的移动台 (MS) 与基站 (BS) 之间的通信链路从当前基站转移到另一个基站的过程。该过程也称为自动链路转

移 ALT (Automatic Link Transfer)。

越区切换通常发生在移动台从一个基站覆盖的小区进入到另一个基站覆盖的小区的情况下，为了保持通信的连续性，将移动台与当前基站之间的链路转移到移动台与新基站之间的链路。

1. 越区切换涉及内容

越区切换包括以下三个方面的问题：

- (1) 越区切换的准则，也就是何时需要进行越区切换。
- (2) 越区切换如何控制。
- (3) 越区切换时信道分配。

越区切换分为两大类：一类是硬切换，另一类是软切换。硬切换是指在新的连接建立以前，先中断旧的连接。而软切换是指既维持旧的连接，又同时建立新的连接，并利用新旧链路的分集合并来改善通信质量，当与新基站建立可靠连接之后再中断旧链路。

在越区切换时，可以仅以某个方向（上行链路或下行链路）的链路质量为准，也可以同时考虑双向链路的通信质量。

2. 越区切换的控制策略

对于越区切换的控制策略，在 CDMA 和 GSM 蜂窝通信系统中，网络要求移动台测量其周围基站的信号质量并把结果报告给旧基站，网络根据测试结果决定何时进行越区切换以及切换到哪个基站。

3. 越区切换时的信道分配

越区切换时的信道分配是解决当呼叫要转换到新小区时，新小区如何分配信道，使得越区失败的概率尽量小。常用的做法是在每个小区预留部分信道专门用于越区切换。这种做法的特点是：因新呼叫使可用信道数的减少，要增加呼损率，但减少了通话被中断的概率，从而符合人们的使用习惯。

4.6.2 位置管理

1. 位置管理的任务

在移动通信系统中，用户可在系统覆盖范围内任意移动。为了能把一个呼叫传送到随机移动的用户，就必须有一个高效的位置管理系统来跟踪用户的位置变化。

位置管理包括两个任务：位置登记和呼叫传递。位置登记的步骤是在移动台的实时位置信息已知的情况下，更新位置数据库和认证移动台。呼叫传递的步骤是在有呼叫给移动台的情况下，根据移动用户在网络中存储原登记注册的用户信息（用户的预定业务、记账信息和位置信息等）和移动用户登记注册的位置区，这些中可用的位置信息来定位移动台。

位置管理涉及网络处理能力和网络通信能力。网络处理能力涉及数据库的大小、查询的频度和响应速度等；网络通信能力涉及传输位置更新和查询信息所增加的业务量和时延等。位置管理的目标是以尽可能小的处理能力和附加业务量，来最快地确定用户位置，以求容纳尽可能多的用户。

2. 位置更新

在移动通信系统中，是将系统覆盖范围分为若干个登记区（RA）。当用户进入一个新的登记区，它将进行位置更新。当有呼叫要到达该用户时，将在该登记区内进行寻呼，以确定出移动用户在哪一个小区范围内。位置更新和寻呼信息都是在移动通信系统中的控制信道上传输。由于移动台的移动性和呼叫达到情况是千差万别的，位置更新和寻呼机制应能够基于每一个用户的情况进行调整。

3. 定位与过境切换

在移动台通话过程中，为其服务的基站定位接收机不断监测来自移动台（MS）的信号电平，当发现环回的监测音（SAT）的电平低于某一指定值，即信号电平降至请求过境切换的强度时，立即告知移动台的移动交换局（MTSO），移动交换局（MTSO）当即命令邻近的基站（BS）同时监测该移动台的信号电平，并即把测量结果向移动交换局（MTSO）报告。移动交换局（MTSO）根据这些测量结果，就可判断移动台驶入了哪个小区，上述过程就称为定位。通过定位，就能确定是否需要以及如何进行过境切换，过境切换的过程如图 4.21 所示。

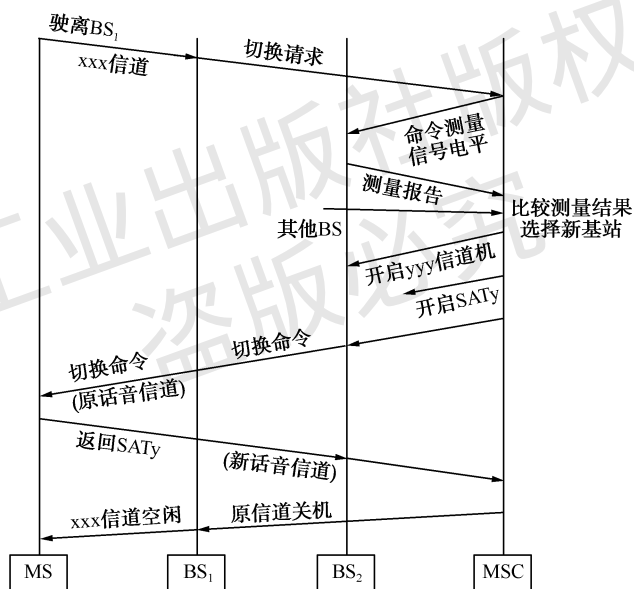


图 4.21 过境切换过程

4. 寻呼与接入

寻呼是当市话用户呼叫某一个移动用户时，移动交换局（MTSO）通过某一个基站或位置区内多个基站甚至所有基站发出呼叫信号，包括被呼用户号码以及语音信道指配代号等。这些寻呼信号是在下行链路的控制信道上发送的。

接入是指移动台主呼时，要求入网。为此在上行链路的控制信道上发送入网信息，如将自己的用户识别号告知基站，并在下行链路的控制信道上等候指配语音信道。接入过程如下：移动台开机后，在内存程序控制下，进行自动搜索控制信道。若为空闲，就发送入网信

息，基站收到移动台发送的接入信息后，告知移动交换局（MTSO），移动交换局（MTSO）经核实为有效用户时，就为基站和移动台指配一对语音信道，移动台就根据指配指令自动调谐到语音信道，这样就完成了接入过程。

5. 拨号数字信号

拨号数字码用常规的BCD码转换，即用四位二进制比特表示一位十进制数。

4.7 多信道共用技术

无线频率是一种宝贵的自然资源。随着移动通信的发展，信道数目有限和用户急剧增加的矛盾越来越尖锐。多信道共用技术是解决上述矛盾的有效手段之一。

多信道共用技术就是在移动通信网中，在基站控制的小区内有 n 个无线信道提供给该小区的所有移动用户共同使用。当 k ($k < n$) 个信道被占用时，其他需要通话的用户可以选择其余 $(n - k)$ 中的任一空闲信道进行通话。某一用户需要通信而发出呼叫时，基站需要按一定的选取方式进行空闲信道的分配。空闲信道的选取方式主要可以分为两类：一类是专用呼叫信道方式（或称“共用信令信道”方式）；另一类是标明空闲信道方式。

1. 专用呼叫信道方式

这种方式是在网中设置专门的呼叫信道，专用于处理用户的呼叫。移动用户只要不在通话时就停在这呼叫信道上守候。

2. 标明空闲信道方式

这种方式是在网中不设置专门的呼叫信道，所有的信道都可供通话，选择呼叫与通话可在同一信道上进行。基站在某一空闲信道发出空闲信号，所有未通话的移动台都自动地对所有信道进行搜索。

本章小结

本章介绍了移动通信系统的组网技术，主要包括区域覆盖方式、区群的构成与激励方式、信道（频率）配置、移动通信的网络结构、信令、越区切换和位置管理及多信道共用技术。所涉及这些都是移动通信系统网络构成的基础。通过对移动通信系统的组网的基本概念、特性和技术的学习和了解，为后续介绍GSM、CDMA以及其他移动通信系统打下了基础。本章的主要内容包括：

- (1) 区域覆盖方式。对区域覆盖方式基本机制和所涉及的概念和特性进行了介绍。
- (2) 区群的构成与激励方式。分别介绍了区群的构成与激励方式的概念和特点，应用领域。
- (3) 系统容量与信道（频率）配置。介绍了系统容量与信道（频率）配置的方法和特点。着重介绍移动通信系统容量计算方法与系统信道（频率）的配置。
- (4) 移动通信的网络结构。分别介绍了移动通信的网络结构、构成、信道类型的概念和特点，应用领域。
- (5) 信令。分别介绍了移动通信的信令。着重介绍了数字信令格式，应用领域。通过一个呼叫控制的举例来说明信令的作用，以帮助学生加深对信令理解。
- (6) 越区切换和位置管理。分别介绍了移动通信的越区切换和位置管理的概念和特点。着重通过一个

越区切换和定位的流程来说明越区切换和位置管理的控制过程。

(7) 多信道共用技术。介绍了移动通信中多信道共用技术的概念及作用。

习 题 4

- 4.1 组网技术包括哪些主要问题?
- 4.2 移动通信网的体制是如何划分的? 各有何特点?
- 4.3 在面状网中, 把小区形状为_____的小区制移动通信网称为移动蜂窝网。
A. 正三角形 B. 正六边形 C. 正方形
- 4.4 在蜂窝式移动通信网中, 一个无线区群通常是由若干邻接的_____组成。
- 4.5 每个小区由三副 120° 扇形定向辐射天线共同覆盖, 这被称为_____。
- 4.6 信道(频率)配置主要是针对_____系统。
- 4.7 频率(信道)配置的目的是什么? 可采用什么方法?
- 4.8 移动通信网的基本网络结构包括哪些功能?
- 4.9 移动通信网中交换的作用是什么?
- 4.10 移动通信的空中接口模型包括_____、_____和_____。
- 4.11 移动通信网中, 一个_____可由一个或几个无线小区组成。
- 4.12 从基站向用户传送信息的通道称为_____。
- 4.13 信道主要有哪几种类型? 其各自的作用是什么?
- 4.14 什么是信令? 信令的功能是什么? 有哪几种类型?
- 4.15 通常把在信息码元序列中, 加入监督码元的办法称为_____。
- 4.16 什么是越区切换? 越区切换主要涉及哪些问题? 软切换和硬切换有什么区别?
- 4.17 越区切换时, 采用什么信道分配方法可减少通信中断率?
- 4.18 试述移动台过境切换和接入的工作过程。
- 4.19 空闲信道的选取方式主要有哪几类? 各有什么特点?