

第3章 噪声和干扰

外部噪声和干扰是使通信性能变坏的重要原因,为了保证接收质量,必须研究噪声和各种干扰对接收质量的影响。而这些内容在通信原理中已有介绍,这里仅结合移动通信特点进一步概括归纳。

3.1 外部噪声

移动通信的环境噪声大致分为自然噪声与人为噪声。

(1) 自然噪声

- 大气噪声;
- 银河噪声;
- 太阳噪声。

(2) 人为噪声

- 汽车及其他发动机点火系统噪声;
- 通信电子干扰;
- 工业、科研、医疗、家用电器设备干扰;
- 电力线干扰。

人为噪声多属于冲击性噪声,大量的噪声混合在一起还可能形成连续的噪声或者连续噪声叠加冲击性噪声。由频谱分析结果可知,这种噪声的频谱较宽,且强度随频率升高而降低。根据美国国际电报电话公司(ITT)提供的数据,环境噪声对移动通信的影响如图 3-1 所示。图中,A 是市区人为噪声;B 是郊区人为噪声;C 为典型接收机热噪声;

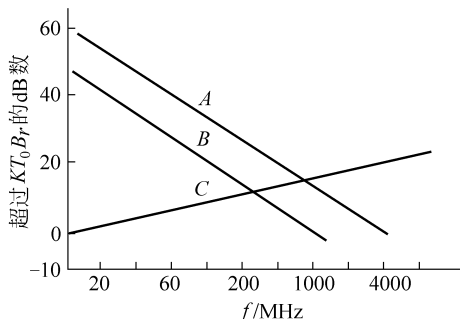


图 3-1 人为噪声曲线

纵坐标用超过 kT_0B_r 的 dB 数表示, k 为玻耳兹曼常数, $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, T_0 为热力学温度, $T_0=290\text{K}$, B_r 为接收机带宽, $B_r=16\text{kHz}$ 。图 3-1 所示曲线适合于工业国家, 而对我国目前的工业水平和汽车数量而言, 人为噪声的强度要略低一些。从图中可见, 人为噪声对移动通信的影响必须给予考虑, 而自然的噪声则可以忽略。

对陆地移动通信而言, 最主要的人为噪声是汽车点火系统的火花噪声, 为了抑制这种噪声的影响, 可采取必要的屏蔽和滤波措施, 在接收机里采用噪声限制器和噪声熄灭器也是行之有效的方法。

3.2 各种无线电干扰

在移动通信中, 主要的无线电干扰有:

- 发射机互调和接收机互调所引起的干扰;
- 邻道干扰;
- 同频干扰(即同波道干扰);
- 组合频率干扰和副波道干扰;
- 阻塞和寄生辐射干扰;
- 发射机寄生辐射干扰;
- 接收机寄生灵敏度。

在本章只讨论第 1~3 项内容。

3.2.1 互调干扰机理

1. 造成互调干扰的机理

两个或多个信号同时作用到非线性器件上, 由于器件的非线性特性, 这些信号产生互调, 如果互调的产物落在接收机带内且有一定强度, 就会造成对接收机的干扰。电路的非线性特性是造成互调干扰的根本原因。在移动通信中, 由于发射机末级和接收机的前级电路的非线性特性, 就会造成发射机或接收机互调。另外, 由于发射高频滤波器及天线馈线等元器件的接触不良或拉线天线及天线螺栓等金属构件由于锈蚀而造成的接触不良, 在发射机强射频场的作用下发生检波作用, 也会产生互调, 只要采取适当的措施加强维护, 使部件接触良好, 这个问题是可以避免的。

2. 互调数目和无三阶互调波道组

从分析互调干扰的频率组合关系可知, 偶数阶的组合频率都远离有用信号的频率, 故它们不可能形成互调干扰, 而奇数阶互调的差频就在有用信号的频率附近, 所造成的干扰称为奇数阶互调干扰(其中最主要的是三阶互调干扰), 这是最主要的互调干扰。至于 5 阶(和 7 阶以上)互调干扰, 由于高次谐波的能量很小, 一般工程设计中, 其影响可以忽略。

若有 N 个等间距排列的频率群, 那么, 落入第 P 个波道中的三阶互调产物的数量 S 按下式计算:

$$S = \sum_{p=1}^N S_p = \frac{N}{3}(N-1)(N-2) \quad (3-1)$$

多波道系统的三阶互调数目随信道数目 N 的增加而迅速增加。这些互调产物若落在本系统的工作信道内,就会造成互调干扰。

在频率分配时,若适当地选择不等频距的波道,可以使其所产生的互调产物不落入任一个工作波道。在一个通信系统中应无三阶互调,同时又应该尽量提高频率利用率。根据这点所确定的无三阶互调干扰的波道组如表 3-1 所示。分析结果表明,这些波道组的构成规律是:任何两个波道序号之差是不重复的。这就是说,一个波道组内,若任何两个波道的序号的差值均不相等,则该波道组是无三阶互调的波道组;否则,就有三阶互调干扰。

表 3-1 无三阶互调波道组

需用波道数目	最小占用波道数	无三阶互调波道序号	频段利用率/%
3	4	1 2 4	75
4	7	1 2 5 7 1 3 6 7	57
5	12	1 2 5 10 12 1 3 8 11 12	42
6	18	1 2 9 13 15 18 1 2 5 11 16 18 1 2 5 11 13 18	33
7	26	1 2 3 12 21 24 26 1 3 4 11 17 22 26 1 2 5 11 19 24 26 1 3 8 14 22 23 26 1 2 12 17 20 24 26 1 4 5 13 19 24 26 1 5 10 16 23 24 26	27
8	35	1 2 5 10 16 23 33 35	23
9	45	1 2 6 13 26 28 36 42	20
10	56	1 2 7 11 24 27 35 36 42 54 56	18

利用表 3-1 所示的数据可以很方便地选出无三阶互调干扰的一组频率。如需波道数为 5,第一波道频率 $f_1=163.200\text{MHz}$,波道间隔 25kHz ,则无三阶互调干扰的 5 个波道频率分别为

$$f_1=163.200\text{MHz}$$

$$f_2=163.200\text{MHz}+0.025\text{MHz}=163.225\text{MHz}$$

$$f_5=163.200\text{MHz}+0.025\times4\text{MHz}=163.300\text{MHz}$$

$$f_{10}=163.200\text{MHz}+0.025\times9\text{MHz}=163.425\text{MHz}$$

$$f_{12}=163.200\text{MHz}+0.025\times11\text{MHz}=163.475\text{MHz}$$

占用频段为 $25\times12=300\text{kHz}$ 。

由表 3-1 可见,当选择无三阶互调波道组工作时,在占用的频段内,只能使用一部分

波道,因而频段利用率不高。而且,需用的波道数越多,频段的利用率越低。

选用无三阶互调波道组工作时,三阶互调产物依然存在,只是不落在本系统的工作波道之内而已,对本系统以外的系统仍然能够构成干扰。

3. 发射机互调和接收机互调分析(略)

3.2.2 邻道干扰

邻道干扰是指相邻和相近的波道之间的干扰。这里主要讨论发射机的调制边带扩展干扰和发射机边带噪声干扰。

在多波道移动通信系统中,当移动台靠近基地台时,移动台发射机的调制边带扩展和边带噪声辐射,将会对正在接收微弱信号的基地台接收机产生干扰。一般来说,移动台距基地台越近,路径传播损耗越小,则邻道干扰越大。反之,基地台发射机对移动台接收机的邻道干扰,却不是很严重,因为这时移动台接收的有用信号功率远远大于邻道干扰功率。

克服邻道干扰,除提高中频滤波器的选择性外,主要是减小场强变化的动态范围,克服其邻近效应。一般可采取下述措施。

(1) 在小区制系统中缩小服务区,降低发射功率,使同一服务区内接收信号的场强动态范围减小到 40~60dB。

(2) 利用移动台接收基地台信号的大小对移动台的发射功率进行自动调整,使移动台接近基地台时,发射功率降低,克服远近效应带来的影响。

3.2.3 同波道干扰

同波道干扰一般是指相同频率电台之间的干扰,它表现为差拍干扰和由于调制而产生的调频干扰。在电台密集的地方,若频率管理和系统的设计不当,例如,同波道电台之间的距离不够大,相应的空间隔离度不满足要求,就会造成同波道干扰。

在移动通信中为了提高频率的利用率,在相隔一定距离之外,可以使用同波道电台,称之为同波道复用或波道的地区复用。显然,同波道的无线区相距愈远,它们之间的空间间隔度愈大,同波道干扰愈小,但频率复用次数(在某地域范围内)也随之降低,即频率的利用率降低。因此,考虑时要两者兼顾。在进行无线区的频率分配时,应在满足通信质量的前提下,确定相同频率重复使用的最小距离。该距离称为同波道干扰复用的最小安全距离,简称同波道复用距离。由此可见,从工程的需要出发,研究同波道干扰必须和同波道复用距离紧密联系起来,以便给小区制的频率分配提供依据。

同波道复用距离与以下因素有关。

- (1) 调制方式(调相或调频)。
- (2) 工作频率的传播特征。
- (3) 无线区半径 R 。
- (4) 要求的可靠通信概率(通信可靠度)。
- (5) 选用的工作方式。

同波道复用距离具体的计算方法从略。

3.2.4 码间干扰

由通信理论可知,如果一个数字传输系统具有无限带宽,则该系统是线性的,并且在全频段上是无失真的。但实际上每个数字传输系统的带宽是有限的,总存在数量不等的频率响应失真,如果有一个脉冲序列通过该带宽受限的实际系统,就会使脉冲展宽,以及产生码元素重叠现象,这就是常说的码间干扰(ISI)。所以在实际系统中,必须考虑波形失真和码间干扰问题。

在移动通信环境中,由于传播时延差 Δ 引起的码间干扰和信号传输率及工作频率是无关的,传播时延受带宽限制和多径反射的影响。移动无线环境是无法改变的,必须通过其他技术措施来对付码间干扰。应用信号波形整形技术和使用均衡器能显著降低码间干扰。

如果信号传输率相对较低,满足

$$\frac{1}{f_b} \gg \Delta \quad (3-2)$$

式中, f_b 是信号传输速率,则传播时延的影响可以忽略。譬如,在一个典型的郊区范围内,传播时延为 $0.5 \mu\text{s}$,信号传输速率为 16kbps ,则 $\frac{1}{f_b} = 6.25 \mu\text{s}$,远大于传播时延 Δ ,故由于 Δ 引起的码间干扰可不予考虑。

在通信工程中,常用眼图来评价数字通信中的码间干扰,码间干扰对信号恶化的影响可分为幅度恶化和定时恶化。信号幅度恶化是由高斯噪声、带宽受限失真、本地振荡器稳定性的变化、判决门限的不确定性和瑞利衰落等引起的。信号定时恶化是由频率响应受限失真、时钟误差引起的时间滑动、时钟不稳定引起的延时抖动、定时信号的初始状态未对准以及移动无线环境中传播时延等引起的。

传播时延对信号的影响可按下列公式进行定量分析。要维持没有传播时延(有高斯噪声和瑞利衰落的存在)时的误码概率,当存在传播时延时,载波-噪声比必须提高。信噪比 SNR 的增量为

$$\Delta(\text{SNR}) = 20\lg \frac{A}{\alpha} \quad (3-3)$$

式中, A 是在无传播时延条件下眼图的垂直张开度; α 是传播时延明显存在时眼图的垂直张开度。

例 3-1 非相干二进制 FSK 信号在一个典型的郊区范围内传播,具有 $0.5 \mu\text{s}$ 的传播时延,如果信号的传输率为 200kbps ,在瑞利衰落无线环境中,由于幅度失真,波形为余弦波,那么由传输时延导致这种信号的降落的数值是多少?

解 余弦脉冲表达式为

$$S(t) = A \cos \frac{\pi t}{T} \quad (3-4)$$

假定判决在 $t=0$ 时进行,传输时延为 $0.5 \mu\text{s}$,且信号传输率为 $f_b=200\text{kbps}$,则 α 的数值可表示为

$$\alpha = S(0.5) = A\cos(\pi \times 0.5 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^5) = A\cos(0.1\pi) = 0.95A \quad (3-5)$$

代入式(3-3)得 $\Delta(\text{SNR}) = 0.44\text{dB}$ 。这种由于传播时延引起的信号质量降低似乎很小,对瑞利衰落情况下的错误概率仅产生一点微小的影响。

上述结果也可以应用于相干 FSK、DPSK 和 PSK 信号传输系统中,它们都受到介质中传播时延产生的同类信号衰落的影响。然而,由于传播时延的大小不同以及波形形状不同,信号衰落量也是不同的。

总结起来,可归纳如下结论:

- (1) 当信号传输率较低时,波形整形技术对降低码间干扰 ISI 是有效的。
- (2) 当信号传输率升高和传播时延严重时,发端波形的整形对在接收端降低码间干扰的作用很小。
- (3) 在高斯噪声情况下,使用均衡器来降低 ISI 的解决方法能够在多径瑞利衰落场合对解决信号性能的降低有实际贡献,这取决于传播时延程度。

复 习 题

1. 噪声如何分类? 人为噪声有哪些特点?
2. 移动通信中主要存在哪些干扰? 它们是如何定义的?
3. 何谓“同频干扰”,它是如何产生的,又如何减少其影响?
4. 检验波道序号为 1、3、8、14、23 和 26 的波道组,是否为无三阶互调的波道组?
5. 论述移动通信发射机有哪些抑制互调干扰和邻道干扰的措施。
6. 什么叫同波道复用,其复用距离取决于哪些因素?

第 4 章 移动通信的组网技术

通信系统分为两大类。一类是点对点的通信,在二点之间建立一条通路(其中包括终端设备和信道),确保信息从某一地点有效而可靠地传输到另一点。另一类通信系统,往往需要进行多点之间的通信,这就是网通信。现代移动通信系统一般是网通信系统。

移动通信网的基础是由区域性通信网以及网和网间的通信干线所组成的。在设计一个移动通信网时,必须考虑组网的制式问题、工作方式、网络结构、控制、信令方式、受损等问题。

有关频段、工作方式在第 1 章已做过介绍,下面就其余部分予以阐述。

4.1 移动通信系统业务区域的组成

在公用移动通信系统中,大部分服务区是宽阔的面状区域,根据用户数的不同可分大区制和小区制两种体制。一个基地台只能在其覆盖区内为移动用户提供服务,这样的覆盖区称为无线区。

4.1.1 大区制和小区制

1. 大区制

其业务区内由一个或几个无线基地台覆盖,每个基地台基本上是独立的。服务半径在 25~40km 左右,用户容量为几十至数百个。该制式的基地台组成单一、设备少而便宜、网络简单、基地台天线很高、发射功率大,而移动台的天线低。为了使基地台能可靠地接收远地移动台信号,常采用分集接收技术,此制式一般用于专业网中。

大区制的主要缺点是:系统容量不高,因为其容量(即用户数)主要由基地台可用的信道数来决定。信道数愈多,能提供的业务量也愈大,即用户数愈多。但是,一个基地台所能提供的信道数是有限的,故这种制式只适合于在中小城市或专用移动网中应用。为了适应大城市或更大区域的服务要求,必须采用小区制组网方式,以便在有限的频谱资源条件下,达到扩大容量的目的。

2. 小区制

由若干个半径约 1km~5km 的无线区构成一个完整的大业务区,

每个小区只需提供较少的信道数目就可满足通信的要求。采用小区制使信道复用距离缩短了,发射机功率降低了,于是互调干扰亦可减小。在各个无线区中采用信道复用技术,即相邻小区不使用相同的信道组,而且每隔几个无线区的信道隔离区重复使用同一组信道。这种以充分利用频率为目的的重复使用某一组信道的技术,称做信道复用技术。

采用信道复用所带来的问题是,当移动台从一个无线区驶入另一个无线区时,即越区过程中必须进行信道自动切换,以保证移动台越区时通话不间断,这种技术称为越区信道切换技术。为此,还要及时掌握移动台动态位置——位置登记技术。

随着小区半径的减小(如减至几百米),又出现了微蜂窝结构。这种制式的构成虽然较复杂、设备费用高,但可满足用户稠密地区(如大城市)的需要。随着移动用户不断增加,微蜂窝结构已成为一种普遍采用的制式。在设计中,为了给单位覆盖区域提供更多的信道数,可进一步采用小区分裂、扇区划分的方法。在 3G 和 4G 中,为了进一步提高传输速率和效率,要采用小区半径更小的微微蜂窝系统,但随之带来的技术复杂度却大为增加。

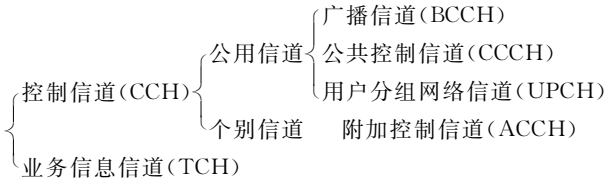
3. 面状服务区、带状服务区

面状服务区是由若干个无线小区组成的面状区域。为使其覆盖面积最大,相邻小区中心间隔也最大,常采用正六边形作为无线小区的形状。

铁路的列车无线电话,长途汽车(高速公路)的无线电话,以及沿海、内河航行的船舶无线电话系统等都属于带状服务区。为了克服同频干扰,常采用双频组频率配置和三频组频率配置。

4.1.2 信道构成

为了传输业务信息和信令,通常需要多种信道。对不同的系统和不同的通信容量,其信道结构也不同。一般小容量系统在话音信道中兼传信令,称为随路信令;而大容量系统多采用共路信令,即指定一个或多个信道专门作为传送信令之用。大容量系统的信道结构,除话音业务信道(S-Ch)外,还有信令信道,包括寻呼信道 P-Ch(paging-channel)、接入(access)信道 A-Ch 和数据信道 D-Ch 等。按 CCITT 有关方面建议,对数字移动通信系统的无线信道,可按功能分类如下:



按用途之不同又可分为:

- 传送用户业务信息的信息信道(traffic channel,TCH);
- 呼叫用的公共控制信道(common control channel,CCCH);
- 通信中传送信道切换、位置登记等信令的附加控制信道(associated control channel,ACCH);
- 在各无线基地台间传送同步信息及位置区码的广播型控制信道(broadcast control channel,BCCH)。

此外,为了使信息在局域网内传送,可灵活使用具有多址功能的公共用户分组网信道(user packet channel,UPCH)。

4.1.3 多信道共用技术

在一个无线区内,许多移动台共用一组信道。这些用户移动台的任何一个均可选择一个空闲信道进行通话,直到所有信道“示忙”为止。在相同信道数目下,采用多信道共用技术比固定信道通信能容纳的用户数大大增加。这时,阻塞率也大大下降,从而提高了频率利用率,缩短了用户等待时间。

为了进一步说明它们的关系,先定义下述几个参数。

1. 话务量或业务量

$$\text{话务量} = \frac{\text{通话次数} \times \text{平均每次通信时间}(\text{min})}{60}(\text{erl})^{\text{①}}$$

例如,一个移动电话系统每天平均有 2000 次通话,平均每次通话时间为 3min,即可算出该系统每天的总业务量为 $2000 \times 3/60 = 100(\text{erl})$ 。

若一个信道在全部时间内都被利用,没有空闲,则该信道一小时只能传送 $60/60 = 1(\text{erl})$ 的话务量,这是一个信道最大的承担能力。实际上不可能没有空闲时间,因此,每小时传送的话务量总是小于 1erl 的,也就是说,信道利用率(或叫信道效率)总是低于 1 的。

$$\text{信道利用率} = \frac{\text{每小时平均传输的爱尔兰数}}{\text{信道数}} \times 100\%$$

2. 阻塞率

阻塞率是呼叫不通的概率,这里仅考虑因系统不能提供服务而丢失的呼叫,不包括由“叫忙”而不通的呼叫。例如阻塞率为 10%,表示呼叫丢失概率为 10%,也就是说在该系统中平均 10 次呼叫,会有一次因系统阻塞而丢失。阻塞率又称为系统的服务等级,阻塞率越小,意味着服务等级越高。

3. 忙时

忙时即系统业务最忙的那一小时区间。例如,一个电话系统早上 8 时至 9 时电话最多、业务量最大,则该系统的忙时为上午 8 时至 9 时。一个系统的用户并不是都在忙时打电话,只有一部分业务量集中在忙时。忙时业务量和每天总业务量之比称为忙时集中系数。例如,若在前例中的每天 2000 次电话中有 600 次是忙时打的,则忙时集中系数为 0.3,换言之,忙时的业务量为 30erl。一个系统的服务等级要看它在忙时的阻塞率之高低,若在忙时其服务令人满意,则其他时间就不成问题,因此忙时业务量是一个重要的参数。

4. 爱尔兰公式

前面已提到,系统能提供多少用户的通话(即业务量)是与信道数及阻塞率有关的。若假设用户的呼叫按泊松(Poisson)分布随机到达时,可以推导出它们之间的关系为

$$B(c, a) = \frac{a^c / c!}{\sum_{n=0}^c a^n / n!} \quad (4-1)$$

① erl(爱尔兰)为话务量的单位。

式中, B 为阻塞概率; a 为总业务量(erl); c 为信道数。

式(4-1)为爱尔兰 B 公式,该式计算起来很繁,但有计算值表(表 4-1)可以利用。在表 4-1 中只摘录了信道数在 32 以下和阻塞率在 25% 以下的数据,超过上述范围的数据可查有关参考书。从表 4-1 中可以看出,当 $B > 15\%$ 时,提供业务量的爱尔兰数会超过信道数,这好像不符合前述的每信道最大不超过 1erl 的说法。但要说明的是,这里是指总发起呼叫的爱尔兰数,包括被阻塞的业务量在内,实际提供服务的业务量只有 $a' = (1 - B)a$ (erl)。

表 4-1 爱尔兰 B 表

$c \backslash B$ a	0.01	0.02	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
1	0.0101	0.020	0.053	0.111	0.176	0.250	0.33
2	0.1536	0.224	0.381	0.595	0.796	1.000	1.22
3	0.456	0.602	0.899	1.271	1.60	1.930	2.27
4	0.869	1.092	1.525	2.045	2.50	2.945	3.46
5	1.360	1.657	2.219	2.881	3.45	4.010	4.58
6	1.909	2.276	2.960	3.758	4.44	5.109	5.79
7	2.560	2.935	3.738	4.666	5.46	6.230	7.02
8	3.128	3.627	4.543	5.597	6.50	7.369	8.26
9	3.783	4.345	5.370	6.546	7.55	8.522	9.52
10	4.461	5.084	6.216	7.511	8.62	9.685	10.78
11	5.160	5.842	7.076	8.487	9.69	10.857	12.05
12	5.876	6.615	7.950	9.474	10.80	12.036	13.33
13	6.607	7.401	8.835	10.470	11.90	13.222	14.42
14	7.352	8.206	9.730	11.474	13.00	14.413	15.91
15	8.108	9.009	10.623	12.484	14.10	15.608	17.20
16	8.875	9.828	11.544	13.500	15.2	16.807	18.49
17	9.652	10.656	12.461	14.522	16.3	18.010	19.79
18	10.427	11.491	13.385	15.548	17.4	19.216	21.20
19	11.230	12.333	14.315	16.579	18.5	20.424	22.40
20	12.031	13.181	15.249	17.613	19.6	21.635	23.71
21	12.838	14.036	16.189	18.651	20.8	22.848	25.01
22	13.651	14.896	17.132	19.692	21.9	24.064	26.3
23	14.470	15.761	18.080	20.737	23.0	25.281	27.6
24	15.295	16.631	19.031	21.784	24.2	26.499	28.9
25	16.125	17.505	19.985	22.833	25.3	27.729	30.2
26	16.959	18.383	20.943	23.885	26.4	28.941	31.6
27	17.197	19.265	21.904	24.939	27.6	30.164	33.0
28	18.640	20.150	22.867	25.995	28.7	31.388	34.5
29	19.487	21.039	23.833	27.053	29.9	32.614	35.6
30	20.337	21.932	24.802	28.115	31.0	33.840	36.9
31	21.191	22.827	25.773	29.174	32.1	35.067	38.3
32	22.048	23.725	26.746	30.237	33.3	36.295	39.6