



移动通信基础篇



无线通信基础知识*

【本章学习要点】

- ◇ 无线通信相关概念
- ◇ 无线通信调制的目的及方法
- ◇ 无线通信系统的组成模型及分类
- ◇ 无线通信网络

在学习移动通信之前,掌握一些无线通信的有关基本概念是非常必要的。本章介绍的许多无线通信概念及原理是学习后续章节的基础。

1.1 无线通信及其相关知识

1.1.1 无线通信的发展史及无线通信的概念

1. 无线通信的发展史

无线通信起步要比有线通信稍晚。麦克斯韦(J. C. Maxwell)于 1861 年从理论上预言了大气中存在着电磁波之后,大约经过了 27 年,赫兹(H. R. Hertz)通过火花放电初次成功地发现了电磁波,用实验方法证明了麦克斯韦理论(1888 年)。1894 年,意大利的马可尼(G. Marconi)和俄国的波波夫同时发明了无线电。马可尼利用赫兹的火花振荡器作为发射器,通过电键的开闭产生电磁波信号。1895 年他发射的信号可远达 1km 以上。1897 年,他用莫尔斯码从船上与岸边通信,在穿越大西洋的船上安装无线电系统。这些无线电系统首先被用于给附近的其他船只或岸边的站传送灾难信号,它甚至安装到了著名的豪华邮轮泰坦尼克号上。从此,无线电通信的时代开始了。

无线电发展的第二个伟大的里程碑是在 1933 年阿姆斯特朗(E. H. Armstrong)发明了频率调制(FM)。FM 无线电是第一个克服含有噪声、恶劣无线信道的信号处理例子。这样一来,许多其他的无线电装置随之产生(如电视、军用无线电、雷达等)。但是,最重要、最理想的里程碑出现于 1949 年发表的著名的“通信的数学理论”,香农预言了信号通过信道传输的最佳方式是数字通信,而非模拟通信。

特别是现代蜂窝电话的出现,应该说是无线电发展的第三个里程碑。从 20 世纪 80 年代的模拟蜂窝通信,到现在的第二代蜂窝电话网络,香农预见的思想和数字信息传输已成为现实。

2. 无线通信的概念

利用电磁波的辐射和传播,经过空间传送信息的通信方式称为无线电通信(radio communication),简称无线通信。利用无线通信可以传送电报、电话、传真、数据、图像、广播和电视节目等多种通信业务。目前,微波通信、卫星通信和移动通信已成为无线电通信中的重要手段。

无线通信正如其名称所表示的,它不需要铺设有线传送线路,具有下述特征:

- 可进行宽带通信,同时向多个接收端传送信号。
- 抗灾害能力强。
- 由于利用的是自由空间,适合宽带通信,可应用于移动通信。
- 可应用于由于物理原因或经济原因难于敷设传送线路的海、山、沙漠、人口稀少的地区。
- 因地形和气象条件的影响,电波的传播形式较为复杂,容易受到雨、雷、磁暴等自然现象的影响。
- 保密性差。
- 电波容易受到干扰,频率使用的规则多。

1.1.2 无线通信使用的频率和波段

无线通信初创时期使用的频率较低,频率范围也较窄,波段主要限于长波和中波。随着科学技术的不断进步,使用的频率范围逐步扩大。目前,无线通信使用的频率从超长波波段到亚毫米波段(包括亚毫米波以下),以至光波。无线通信使用的频率范围和波段见表 1-1。

表 1-1 无线通信使用的电磁波的频率范围和波段

频段名称	频率范围	波段名称		波长范围
极低频(ELF)	3~30Hz	极长波		100~10Mm($10^8 \sim 10^7$ m)
超低频(SLF)	30~300Hz	超长波		10~1Mm($10^7 \sim 10^6$ m)
特低频(ULF)	300~3000Hz	特长波		1000~100km($10^6 \sim 10^5$ m)
甚低频(VLF)	3~30kHz	甚长波		100~10km($10^5 \sim 10^4$ m)
低频(LF)	30~300kHz	长波		10~1km($10^4 \sim 10^3$ m)
中频(MF)	300~3000kHz	中波		1000~100m($10^3 \sim 10^2$ m)
高频(HF)	3~30MHz	短波		100~10m($10^2 \sim 10$ m)
甚高频(VHF)	30~300MHz	超短波(米波)		10~1m
特高频(UHF)	300~3000MHz	微波	分米波	1~0.1m($1 \sim 10^{-1}$ m)
超高频(SHF)	3~30GHz		厘米波	10~1cm($10^{-1} \sim 10^{-2}$ m)
极高频(EHF)	30~300GHz		毫米波	10~1mm($10^{-2} \sim 10^{-3}$ m)
至高频(THF)	300~3000GHz		亚毫米波	1~0.1mm($10^{-3} \sim 10^{-4}$ m)
		光波		$3 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-5}$ mm ($3 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-5}$ m)

由于种种原因,欧美一些国家及日本把部分微波波段分为 L、S、C、X、Ku、K、Ka 等波段(或称子波段),具体如表 1-2 所示。

表 1-2 无线通信中所使用的部分微波波段

波段代号	频率范围/GHz	波长范围/cm
L	1~2	30~15
S	2~4	15~7.5
C	4~8	7.5~3.75
X	8~13	3.75~2.31
Ku	13~18	2.31~1.67
K	18~28	1.67~1.07
Ka	28~40	1.07~0.75

1.1.3 无线通信所涉及的地球大气层

无线通信的电磁波传播会涉及地球大气层,这一节主要介绍地球大气层的有关知识。

地球表面的大气层结构示意图如图 1-1 所示。地球大气层中最低的一层是对流层,其厚度平均约为 10~20km,由于它贴近地球表面,大气的温度随着高度增加而下降,空气对流十分频繁。“对流层”的称谓是基于“空气对流剧烈”而确定的。对流层的平均高度随地域变化而有所差异,温带地区为 10~20km,赤道附近为 16~18km。在对流层集中了大气中 90% 以上的水汽和 3/4 以上的大气质量。

对流层的上面一层是平流层,又称同温层,距地面约 20~40km。在平流层上面是电离层。电离层是地球大气层的一部分,处于这种高度的大气,其对流作用甚小,在太阳的辐射作用以及宇宙射线的影响下产生电离,形成相当多的离子和自由电子。按距地球表面的高度,电离层依次分为 D 层、E 层、F₁ 层和 F₂ 层。在白天,这四层电离层均存在;晚上时,D 层消失,F₁ 层和 F₂ 层合并为一层(这时称为 F₂ 层)。

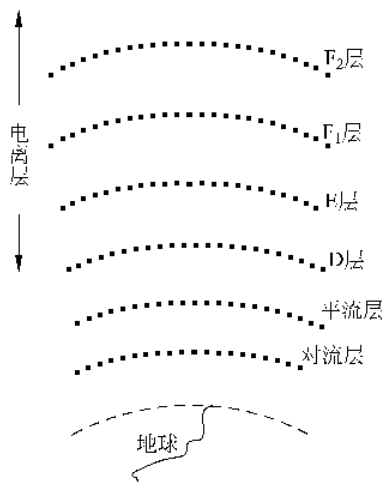


图 1-1 地球表面的大气层结构示意图

1.1.4 无线通信的电波传播

我们把频率在 3×10^{12} Hz 以下的电磁波叫做电波(radio wave),主要应用于通信领域。由于地球表面及空间层的环境条件不同,从地面上发射的电波因其频率不同传播状

态也不一样,一般可分为地面波传播、对流层传播及电离层传播,关于这部分的内容在第2章有详细介绍。图1-2所示为无线通信中的电波传播方式。

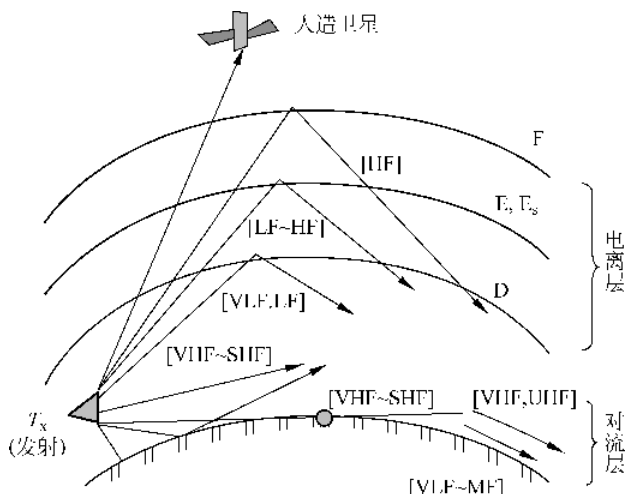


图 1-2 电波的传播方式

图中,F、E、E_s和D代表电离层的分层,它们随太阳的活动、季节、时间、地点等发生复杂的变化,E_s为电离层的分散层。

无线通信的电波传播一般会有如下问题:

- (1) 电波在大气层中传播时,由于雨水和空气的作用而引起散射、吸收。
- (2) 由于空气层的密度不同而产生折射,或在传播过程中被山丘、建筑物等物体阻挡并反射。
- (3) 在穿过对流层时又被空间上层的电离层反射和折射。
- (4) 在移动通信的基站和移动台之间的传播路径中,受到各种障碍物的影响产生多径衰落,因而严重地影响了信号传输的质量。

表1-3表示了电波传播的形式、影响因素与系统频率等之间的关系。

表 1-3 电波的传播形式和系统频率的关系

	方 式	频 率	距 离	影响因素	传播高度
地面波	广播	MF/HF/VHF/UHF 调频和 TV	数十到数百 千米	地形和地物	1km 以下
	移动	VHF/UHF	数百到数千米		
对流层	地面	微波(EHF)	数十千米	大气层折 射 率、大地反 射 和降雨	15km 以下
	卫星	SHF/EHF	数千米(基本 是自由空间)		
电离层	广播和短波 通信	HF 以下, VHF 以 上透过	数百千米到 数千千米	电离层反射	数十到数百 千米

1.1.5 信号、信噪比、信号强度和频谱

1. 信号

信号(signal)是消息的载体,一般表现为随时间变化的某种物理量,而消息是信号的具体内容。在消息中包含一定数量的信息,但是信息的传送一般都不是直接的,它必须借助于一定形式的信号(电信号或光信号等)才能传输和进行处理。在无线通信中,我们同样关心的是用作传输信息手段的电磁信号。

电磁信号的特性可以从时间特性(时域)和频率特性(频域)两个方面描述。信号可表示为数学表达式,即时间 t 的函数,它具有一定的波形,因而表现出一定波形的时间特性,如出现时间的先后、持续时间的长短、重复周期的大小及随时间变化的快慢等。同时,信号在一定的条件下可以分解为许多不同频率的正弦分量,即信号具有一定的频率成分,因而表现一定的频率特性,如含有不同的频率分量、主要频率分量占有不同的范围等。无线通信的电磁信号既是一个时间的函数,也可表示为一个频率的函数。对于无线通信,用频域的观点解释信号比用时域的观点解释信号要重要得多。

在无线通信中传输的语音、数据和图像的电磁信号,其形式可以是多种多样的,以下仅讨论模拟信号和数字信号。

模拟信号的特点是其幅度连续变化,这里“连续”的含义是在某一取值范围内可以取无数多个数值。如图1-3(a)所示的就是模拟信号,这种信号的波形在时间上也是连续的,时间上连续的信号我们称为连续信号。图1-3(b)所示的是图1-3(a)的抽样信号,它实际上是将图1-3(a)的信号波形每隔一定的周期 T 抽样一次,这种信号又称为脉冲幅度信号(PAM),其波形在时间上是离散的,但其幅度取值却是连续的,仍然具有连续变化的性质,因此图1-3(b)仍然是模拟信号。电话、传真、电视信号都是模拟信号。

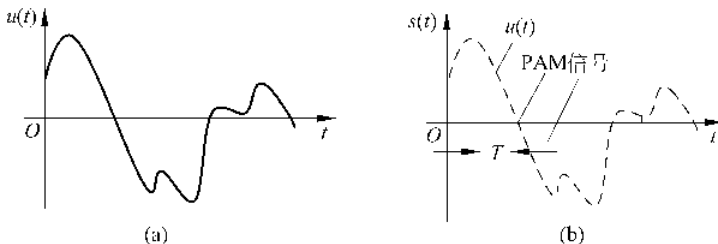


图 1-3 模拟信号

如图1-4所示的是一个数字信号的波形。数字信号的特点是其幅度值是有限值,不是连续的,而是离散的。数字信号的幅度取值有两种:图1-4(a)所示的数字信号的每一个码元(由一个脉冲构成)只取两个幅度值,它是一种二电平码;图1-4(b)所示的数字信号的每一个码元可取四个(3,1,-1,-3)幅值中的一个,它是四电平码。注意,数字信号的时间也可以是连续的,例如异步电报信号。

数字信号与模拟信号的区别是根据幅度取值上是否离散而定的。在一定条件下,模拟信号与数字信号可以互相转换。

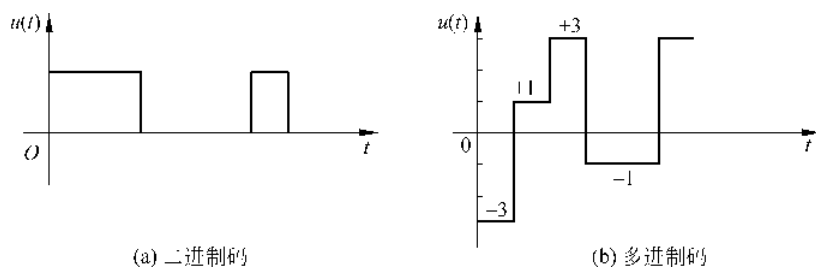


图 1-4 数字信号

2. 信噪比

在无线通信系统中,信号不可避免地要受到噪声的干扰,噪声对信号的干扰程度用信号与噪声的比值,即信噪比(signal to noise ratio) S/N 来表示, S/N 值的单位为 dB(分贝)。系统要求接收到的信号的 S/N 值必须大于 1,这样接收端才能滤掉噪声,分辨出信号。一般的, S/N 的值越高,信号的质量越好。无线通信系统发射端的功率受到各种机制的限制,不能任意提高发射功率,否则可能干扰其他的通信系统。信噪比的计算公式一般表示为

$$S/N(\text{dB}) = 10\lg(S/N)$$

按照上述公式,当信号 S 的值为噪声 N 的 2 倍时, S/N 就为 3dB。

3. 信号强度

在讨论信号的电波传播时,必须以数值来表示信号的强弱,因此有必要了解信号强度(signal intensity)的概念。一般来说,任何传输系统中一个重要的参数就是信号强度。当信号沿着传输媒体传播时,其强度会有损耗或衰减。为了补偿这些损耗,可以在不同的地点加入一些放大器,以获得一个增益。

信号强度最简单的表示方法是用功率,工程上常用分贝来表示信号的强度,即

$$\text{信号强度} = 10\lg(P_2/P_1)(\text{dB})$$

其中 P_2 是信号的功率; P_1 是固定参考信号的功率,大小一般为 1mW。信号的功率越大,其信号强度就越高。

例如某信号的功率为 10W,则其信号强度为 $10\lg 10\text{W}/1\text{mW} = 40\text{dB}$ 。当发射功率增加 1 倍时,则信号强度为 $10\lg(2P_2/P_1) = 10\lg(P_2/P_1) + 10\lg 2 = 10\lg(P_2/P_1) + 3$,即各地接收到的信号强度相应地增加 3dB,表示方法如图 1-5 所示。

4. 频谱

实际上,一个电磁信号也是由多种频率成分组成的。如图 1-6(c)所示的信号,可以表示为

$$s(t) = \frac{4}{\pi} \times \left[\sin(2\pi ft) + \frac{1}{3} \sin(6\pi ft) \right]$$

该信号的组成成分只有频率为 f 和 $3f$ 的正弦波,图 1-6(a)、(b)分别表示了这两个独立成分。从图中还可以发现两个有趣的现象:①第二个频率是第一个频率的整数倍。

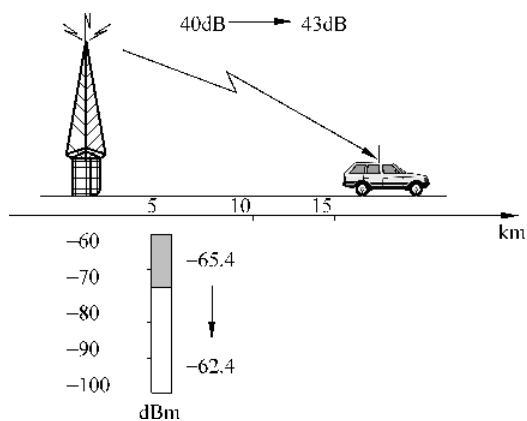


图 1-5 发射功率增加 1 倍,接收到的信号强度增加 3dB 图解

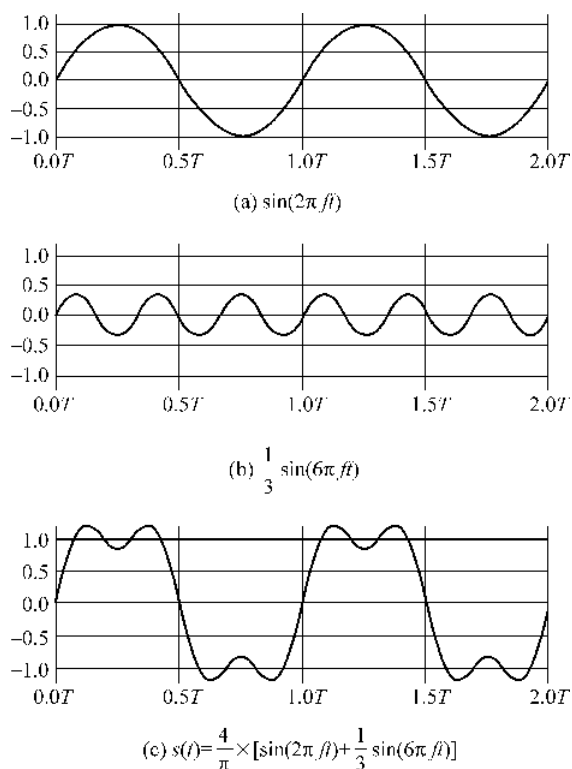


图 1-6 信号频率成分的叠加

当一个信号所有的频率成分都是某个频率的整数倍时,后者就称为基频(fundamental frequency)。②整个信号的周期等于基频周期。例如 $\sin(2\pi ft)$ 的周期是 $T=1/f$,而且 $s(t)$ 的周期也是 T 。

利用傅里叶变换的方法,任何信号都可以分解成各个频率分量的信号,而每一个频率分量都是正弦波。将许多具有振幅、频率和相位的正弦信号叠加在一起,可以构造任何一种电磁信号,即任一电磁信号都可以表示为由具有不同振幅、频率和相位的周期性

模拟信号(正弦波)所组成。因此,今后再讨论信号,从频域的角度看信号会变得更重要。

一个信号的频谱(frequency spectrum)是指它所包含的频率范围。对于图 1-6(c)所示的信号,其频谱从 f 延伸到 $3f$ 。一个信号的绝对带宽是指它的频谱宽度。图 1-6(c)所示信号的绝对带宽是 $3f-f=2f$ 。对于许多信号而言,其带宽是无限的。但是,一个信号的绝大部分能量一般都集中在相当窄的频带内,这个频带称为有效带宽。

1.2 无线通信调制的目的及方法

1.2.1 调制的目的

调制对通信系统是至关重要的,它主要用来变换信号。从消息变换过来的原始信号通常称为基带信号(或低通信号),这种信号的特点是频谱由零频附近开始延伸到某个通常小于几兆赫的有限值。例如,我们平时讲话的频率都是在 $30\sim 3000\text{Hz}$ 的频段,不可能直接送到空中去,隔几栋楼就听不见了。要把我们说的话传送到几千公里甚至更远的地方怎么办呢?根据电波传播特性,应该把要传送的信息加载在较高频率的电波上传送出去,在接收端把加载在电波的信息解出来就可以了。在通信中,前者称为“调制”,后者称为“解调”;要传送的信息就是刚刚提到的基带信号,被加载的信号就叫做载波,而把加载以后的信号称为已调信号。调制就是对信号源的信息进行处理,使其变为适合信道传输的形式过程。通过调制,可以进行频谱搬移,从而将调制信号转换成适合传播的已调信号。调制对通信系统的有效性和传输的可靠性都有很大的影响,调制方式往往决定了一个通信系统的性能。概括起来,调制有以下几个目的。

1. 提高频率以便于辐射

在无线通信系统中,是用空间辐射方式传输信号的。只有当辐射天线的尺寸大于信号波长的 $1/10$ 时,信号才能被天线有效地辐射。例如,用 1m 的天线,辐射频率至少需要 30MHz 。调制过程可将信号频谱搬移到任何需要的频率范围,使其易于以电磁波的形式辐射出去。

2. 实现信道复用

一般来说,每个被传输的信号占用的带宽总是小于信道的带宽。因此,一条信道只传送一个信号显然是很浪费的。通过调制,使各个信号的频谱搬移到指定的位置,互不重叠,从而实现在一条信道里同时传输许多信号。

3. 改变信号占据的带宽

通信系统传输的语音、视频或数据信号的频率范围非常广,传输特性将有很大的变化。通过调制可以避免这种情况,因为调制后的信号频谱通常被搬移到某个载频附近的频带内,有效带宽相对于最低频率而言是很小的。在很窄的频带内,传输特性的变化就不会那样大了。

4. 改善系统的性能

通过前面的讨论可知,信噪比是信号带宽的函数。宽带通信系统一般表现为有较好