

8.0 引言

通信系统的概念

原始信号通过调制器，让信号变化到通信信道上最适合传输的方式；
接收端通过适当形式对于信号进行恢复。

想要在特定的信道里传递信息，必须把信号嵌入到一定频率的载波当中。

基本名词解释

调制 将包含信息的信号嵌入到另一个信号当中

解调 从复合信号当中提取恢复原来的信号

复用 在调制过程中，将频谱重叠的多个信号在同一个信道上同时传输

调制的方法

幅度调制

概念是用待传输信号来调制载波的振幅

正弦幅度调制和频分多路

脉冲幅度调制和时分多路

频率调制

通过待传输信号来调制载波信号的频率

8.1 复指数和正弦幅度调制

调制信号与载波信号相乘得到已调信号

8.1.1 复指数载波的幅度调制

概念

计算

载波可以表示为

$$c(t) = e^{j\omega_c t + \theta_c}$$
$$c(t) = \cos(\omega_c t + \theta_c)$$

根据傅里叶变换的频移性质：

$$Y(t) = x(t)e^{j\omega_0 t} = X(j(\omega - \omega_0))$$

给调制信号乘以复指数载波信号的过程恰好可以视作对于载波信号做了频移，频移的量为载波频率。

同理，解调过程时域上就是除以载波信号，也就是在频域上把已调信号朝着反方向频移回去。

频谱

利用复指数信号调制得到的频谱就是把原始信号的零频率放到了复指数信号频谱（一个在频谱正半轴上的单位冲激响应）冲激所在的位置上。

实现

两个独立的乘法器

$$\begin{aligned}x(t)\cos(\omega_c + \theta_c) &= \text{Re}(y(t)) \\ x(t)\sin(\omega_c + \theta_c) &= \text{Im}(y(t))\end{aligned}$$

在8.4（单边正弦幅度调制）中会阐述用两个相差 $\pi/2$ 正弦载波的调制方法有特殊好处

8.1.2 正弦载波的幅度调制

概念

计算

利用一个正弦波对于信号进行调制，相当于只保留了复指数幅度调制当中实部或虚部。

具体来说就是乘以cos的傅里叶变换

$$Y(j\omega) = \frac{1}{2}[X(j\omega - j\omega_x) + X(j\omega + j\omega_c)]$$

频谱

把调制信号的幅度先乘以二分之一

由于正弦函数的符号左右各有一半，用正弦函数调制出来的已调信号也是左右各有一半

如果已调信号的频率最大值超过了调制信号，在0频附近会出现混叠，这时候我们不能把调制信号从已调信号中完全恢复出来。

8.2 正弦幅度调制的解调

总体来说，同步解调系统需要更高档的解调器来实现相位同步；但非同步解调系统需要更大的发射功率来推动非同步解调器中的包络检波器正常运行；同时由于要确保发射信号都为正，必须在“时域”上加上一个“直流分量”，也就是在发射到信道中的信号里引入了载波的存在。

8.2.1 同步解调

概念

发射机和接收机上相位同步

操作

再用相同正弦载波调制一次

载波信号对于频谱的作用可以理解为分一半幅度向负方向频移，分一半幅度向正方向频移

已经被负向频移的信号向右频移的部分和已经正向频移的信号向左频移的部分重构了幅度只有原来一半调制信号

用增益为2，通频带不会触及到最左左右信号的滤波器处理信号，可以得到调制信号

这就是信号的同步解调

相位

同步解调要求发射端和接收端相位同步

如果不同步，利用复指数调制的信号解调后会出现复指数因子，利用正弦函数调制的信号解调后会出现振幅因子。如果调制器和解调器中相位差为 $\pi/2$ ，那么输出就会是0；如果调制器和解调器之间的相位差改变，振幅因子还会随时间变化。

但是在常见的通讯系统中，相差精确同步并不容易实现。

8.2.2 非同步解调

概念

不通过做相反频移来精确解调，而是通过提取已调信号的包络解调

操作

首先，要求调制信号必须非负、频率远低于载波信号。非负要求可以通过给调制器进行一些改动实现（如加入一个可以让调制信号恒正的直流量），频率要求要视情况而定（如用音频信号调制射频信号的过程中音频信号的频率就远低于射频信号）。

现在认为 K 代表信号的最大幅度值，要使用非同步解调要求幅度必须为正，也就是加入一个 A 使得 $A > K$ 。

调制指数（调制百分数）可以表示为：

$$m = \frac{K}{A}$$

系统的 m 大就意味着加入的“直流分量”小，这个时候更经济；系统的 m 小意味着给定的“直流分量”大，这个时候信号质量更好。显示过程中调制指数的选择需要兼顾经济和信号质量。

8.3 频分多路复用

概念

一个信道的带宽范围内可以容纳多个带限信号的传输带宽，用合适频率的载波信号将传输信号互不干扰地安排在信道频带内的不同位置，就可以实现在同一个宽带信道内传输不同信号。

操作

调制

用不同载波信号调制不同信号，使已调信号都位于信道带宽内，而且不会混叠。

解调（非同步解调）

首先通过带通滤波器解复用，在信道的多簇信号中滤出我们要接收的这一簇。

然后，我们用低通滤波器来解调

8.4 单边带正弦幅度调制

概念

一般的正弦信号调制会导致信号占用频带宽为自身最高频率的两倍，这意味着正弦载波在已调信号中有冗余度。

单边带调制技术可以消除这个冗余度

正右负左为上边带，正左负右位下边带

操作

锐截止的带通或高通滤波器

滤除不需要的边带。

移相技术

把一个边带反转，然后和没有反转的相加，这样就只会剩下我们需要的一个边带。

8.5 用脉冲串进行载波的幅度调制

8.5.1 脉冲串载波调制

概念

载波是一个脉冲串，相当于等间距传递调制信号的时隙样本。

通过采样概念可以得出，对于带限的调制信号，只要脉冲频率足够，就可以将原始信号从时隙样本中恢复。

操作

时域相乘 频域卷积

采样频率足够大就不会混叠

用低通滤波器得到原始信号

8.5.2 时分多路复用

已调信号在载波信号有值时才有值，采样冲激串中的间隙里面可以多塞几个其他信号的采样时隙，这就是时分多路。

调制的时候可以时隙越短能塞的不同信号就越多，不同路信号可以通过时间门信号解复用。

8.6 脉冲幅度调制

脉冲串载波调制的本质是每间隔 T 秒传输调制信号一个时隙内的幅度。

从时隙信号中恢复原信号的能力并不取决于时隙的长短，而是取决于采样频率。

所以，我们只需要传递 $x(t)$ 的样本 $x(nT)$ ，并且通过样本来调制脉冲信号的幅度，这就形成了脉冲幅度调制(PAM)

8.6.1 脉冲幅度已调信号

PAM的时分多路中，脉冲宽度减少就能传递更多的时分多路信号，但是减小脉冲宽度就要增大一定的脉冲幅度，以保证脉冲在传递过程中具有足够的能量。

8.6.2 脉冲幅度调制系统中的码间干扰

信道非理想频率响应会导致单个脉冲变形，这会导致接受到的信号在时间上有重叠，这就是码间干扰。

选择精确过0的sinc函数，让每一个脉冲在其他的采样位点精确过0，这样就可以避免码间干扰。这种情况下，脉冲函数的时域图像是一个峰值增益为1、位于 $t=0$ ，在采样时间的整数倍上精确过0的sinc函数；脉冲函数的频域图像是一个在 $[-\frac{\pi}{T_1}, \frac{\pi}{T_1}]$ 上高度为 T_1 的方块。

为克服信道失真，需要为不同的信道赋予不同的脉冲波形，或者在分离不同时分多路复用信号千对接收信号进行附加处理。如果信道频率响应再通带内不恒定，那么需要对信号进行均衡，对接收到的信号进行滤波。如果信道内存在非线性相位响应，那么还需要进行额外的补偿处理。

8.6.3 数字脉冲幅度调制和脉冲编码调制

一个由编码的0和1序列所调制的脉冲幅度调制系统乘坐脉冲编码调制(PCM)

8.7 正弦频率调制

上文讨论的调制中，信息被包含在已调信号的幅度中，所以称作幅度调制。但是下面的讨论里，信息被包含在已调信号的幅角里，角调制。

对于一个有大动态范围的调制信号，幅度调制的包络载波想要传递这个信号就必须在很大程度上增加输出功率。但在频率调制中，包络载波是常数，发射机可以工作在一个恒定功率上。

频率调制接收质量更高，但是一般也会要求更宽的信号带宽。

用信号进行相位调制等价于用信号的导数进行频率调制。

时变频率概念，用瞬时频率概念来表示。

角调制一通百通，以下只讨论频率调制

8.7.1 窄带频率调制

再强调一遍，调频瞬时频率的求法

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = \omega_c + k_f x(t)$$

窄带频率调制中频率变化量为

$$\Delta\omega = k_f A$$

频率调制的调制指数为

$$m = \frac{\Delta\omega}{\omega_m}$$

窄带也就是说m很小，这个时候已调信号可以近似为

$$y(t) \approx \cos(\omega_c t) + m(\cos\omega_m t)(\cos\omega_c t)$$

8.7.2 宽带频率调制

刚在式子里面的m如果大了，窄带的近似式就不成立了。

宽带频率调制，已调信号的带宽比调制信号宽得多，其正比于调制信号的幅度和调频增益系数(k_f)。

8.7.3 周期方波频率调制

周期方波作为调制信号

8.8 离散时间调制

8.8.1 离散时间正弦幅度调制

8.8.2 离散时间调制转换

8.9 小结

AM/FM 幅度调制/角调制中的频率调制

SC/WC 同步解调（相差精确同步，相同载波调制后取低频波形）/非同步解调（相差没有要求，保证非负且调制信号频率远低于载波信号情况下用包络检波器解调，已调信号包含载波）

DSB/SSB 保留上下两个边带/利用滤波器或移项技术一边保留一个边带

FDM/TDM 同一个信道频率段塞下多个带限信号小段，带通解复用/时间管理大师，不同脉冲段上调制不同信号，利用精确过零sinc函数消除ISI（码间干扰），利用门函数解复用

PAM 脉冲幅度调制