

基于 matlab 的 QAM 信号性能仿真

引言

正交振幅调制，这是近年来被国际上移动通信技术专家十分重视的一种信号调制方式。QAM 是数字信号的一种调制方式，在调制过程中，同时以载波信号的幅度和相位来代表不同的数字比特编码，把多进制与正交载波技术结合起来，进一步提高频带利用率。

单独使用振幅和相位携带信息时，不能最充分利用信号平面，这可由矢量图中信号矢量端点的分布直观观察到。多进制振幅调制时，矢量端点在一条轴上分布；多进制相位调制时，矢量点在一个圆上分布。随着进制数 M 的增大，这些矢量端点之间的最小距离也随之减少。但如果充分利用整个平面，将矢量端点重新合理地分布，则可能在不减小最小距离的情况下，增加信号的端点数。基于上述概念引出的振幅与相位结合的调制方式被称为数字复合调制方式，一般的复合调制称为幅相键控(APK)，2 个正交载波幅相键控称为正交振幅调制。

随着通信业迅速的发展，传统通信系统的容量已经越来越不能满足当前用户的要求，而可用频谱资源有限，也不能靠无限增加频道数目来解决系统容量问题。另外，人们亦不能满足通信单一的语音服务，希望能利用移动电话进行图像等多媒体信息的通信。但由于图像通信比电话需要更大的信道容量。高效、可靠的数字传输系统对于数字图像通信系统的实现很重要，正交幅度调制是数字通信中一种经常利用的数字调制技术，尤其是多进制 QAM 具有很高的频带利用率，在通信业务日益增多使得频带利用率成为主要矛盾的情况下，正交幅度调制方式是一种比较好的选择。

一、现代数字调制技术概述

所有无线通信的基础，调制是一个将数据传送到无线电调制是载波用于发射的过程。如今的大多数无线传输都是数字过程，并且可用的频谱有限，因此调制方式变得前所未有的重要。如今的调制的主要目的是上将尽可能多的数据压缩到最少的频谱中。此目标被称为频谱效率，量度数据在分配的带宽中传输的速度。此度量的单位是比特每秒每赫兹(b/s/Hz)。现已出现了多种用来实现和提高频谱效率的技术，下面将常用的几种数字调制技术进行简单介绍。

1.1 幅移键控和频移键控

调制正弦无线电载波有三种基本方法：更改振幅、频率或相位。比较先进的方法则通过整合两个或者更多这些方法的变体来提高频谱效率。如今，这些基本的调制方式仍在数字信号领域中使用。图 1 显示了二进制零的基本串行数字信号和用于发射的信号以及经过调制后的相应 AM 和 FM 信号。有两种 AM 信号：开关调制和幅移键控。载波振幅在两个振幅级之间变化，从而产生 ASK 调制。AM 在与调制信号的最高频率含量相等的载波频率之上和之下产生边带。所需的带宽是最高频率含量的两倍，包括二进制脉冲调制信号的谐波。频移键控 (FSK) 使载波在两个不同的频率 (称为标记频率和空间频率，即 f_m 和 f_s) 之间变换。FM 会在载波频率之上和之下产生多个边带频率。产生的带宽是最高调制频率 (包含谐波和调制指数) 的函数，即：

$$m = \Delta f(T)$$

(1-1)

Δf 是标记频率与空间频率之间的频率偏移，或者：

$$\Delta f = f_s - f_m$$

(1-2)

T 是数据的时间间隔或者数据速率的倒数 (1/bit/s)。

m 的值越小，产生的边带越少。流行的 FSK 版本是最小频移键控 (MSK)，这种调制方式指定 $m = 0.5$ 。还使用 $m = 0.3$ 等更小的值。

接下来我们讨论两种进一步提高 ASK 和 FSK 的频谱效率的方法。第一个方法是选择数据速率、载波频率和移频，以便发生二进制状态变化时，正弦载波不会出现不连续。这些不连续性会产生短时脉冲波干扰，这种干扰会增加谐波含量和带宽。

这里的思路是使二进制数据的停止和开始时间与正弦载波在零交叉点出现振幅或频率变化的时间同步。这称为连续相或相干操作。与非相干信号相比，相干 ASK/OOK 和相干 FSK 的谐波较少，带宽较窄。

第二种方法是在调制之前对数据进行滤波。这种方法可以对信号进行修整，从而延长上升时间和下降时间，减少谐波含量。特别的高斯滤波器和升余弦低通滤波器的用途就在于此。GSM 蜂窝电话广泛使用了一种流行的整合方案，即高斯滤波 MSK (GMSK)，这种方案可以在 200kHz 信道中实现 270kbps 的数据速率。

1.2 二进制相移键控和正交相移键控

二进制相移键控是一种非常流行的数字调制方式，该调制方式是在发生每一个二进制状态变化时将正弦载波进行 180°

的相移(图 2)。BPSK 在零交叉点出现相变时是相干的。BPSK 的正确解调需要信号与相同相位的正弦载波进行对比。这涉及到载波恢复和其他的复杂电路。

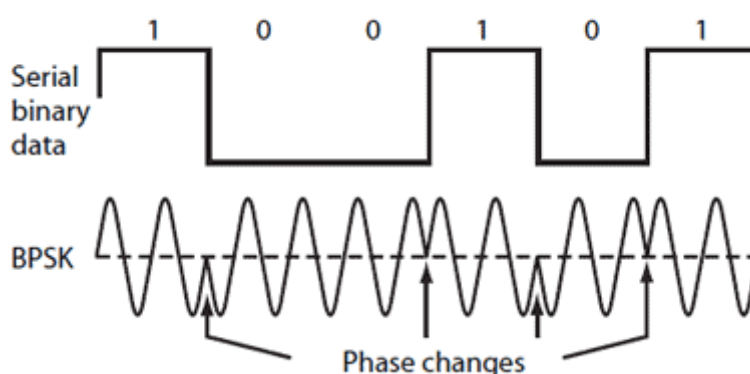


图 1-1 在二进制相移键控中, 请注意二进制 0 的相位是怎样为 0° , 而二进制 1 的相位是怎样为 180° 的。当二进制状态发生变换时, 相位发生变化, 因此信号是相关的。

差分 BPSK 或 DPSK 是比较简单的调制方式, 这两种调制试试会将接收到的比特相位与以前的比特信号的相位进行对比。BPSK 是频谱效率极高的一种调制方式, 你可以以与带宽(即 1bit/Hz)相等的数据速率传送数据。

正交 PSK 是 BPSK 的一种比较流行的变体, 在该方式中, 调制器产生两个相移为 90° 的正弦载波。二进制数据对每个相位进行调制, 从而产生四个相移为 45° 的唯一的正弦信号。两个相位叠加在一起, 产生最终的信号。每一对唯一的比特都产生具有不同相位的载波。

图 1-2 (a) 通过相量图描述了 QPSK, 图中的相量表示载波正弦振幅峰值, 及其位置表示相位。图 1-2 (b) 中的星座图显示了同样的信息。由于每一个载波相位都表示两比特数据, 因此 QPSK 是一种频谱效率极高的调制方式。其频谱效率为 2bit/Hz, 这是同一带宽中 BPSK 能够实现的数据速率的两倍。

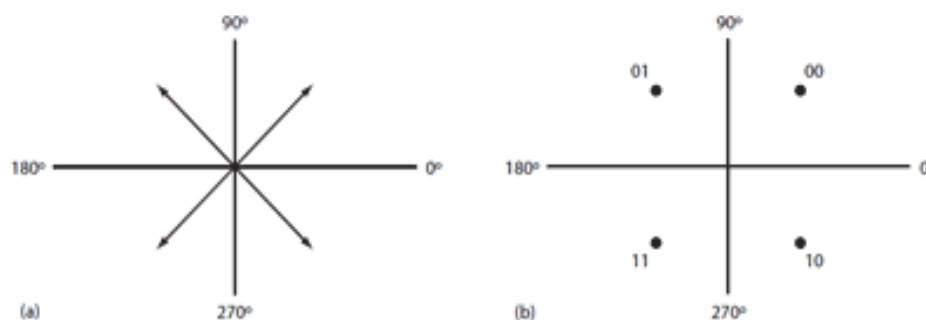


图 1-2 可以不使用时域波形来表示调制方式。QPSK 可以用相量图(a)或者星座图(b)表示, 这两种图都表示相位和振幅的大小。

在 QPSK 调制方式下，每个符号为 2 比特，其频谱效率极高。由于有四种振幅相位组合，因此 QPSK 也称为 4-PSK。通过使用较小的相移，每个符号可以传输更多比特。8-PSK 和 16-PSK 是比较常用的调制方式。

8-PSK 采用八个符号，这些符号之间存在 45° 的等幅载波相移，从而可以实现每个符号传输三比特。16-PSK 采用 22.5° 的等幅载波信号相移。该方案可以实现每个符号传输 4 比特。

虽然多相移键控的频谱效率较高，但是小相移数越大，在有噪声的环境下解调信号就越难。M-PSK 的优势在于等幅载波可以使用效率更高的非线性功放。

1.3 正交调幅

创建具有某种振幅和相位组合的符号可以进一步增加每个符号传输的比特数。这种方法称为正交调幅。比如，8QAM 使用四种载波相位和两个振幅级来实现每个符号传输 3 比特。其他流行的调制方式包括 16QAM、64QAM 和 256QAM，这三种调制方式每个符号分别传输 4、6 和 8 比特。

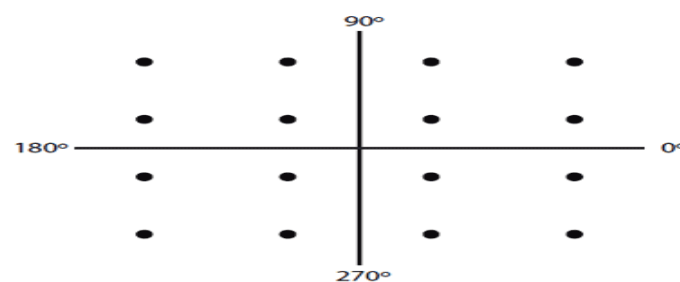


图 1-3 16QAM 同时使用振幅和相位来实现 4bit/Hz 的频谱效率。

虽然 QAM 的频谱效率极高，但是在有噪声的情况下解调信号的难度也更大，其振幅变化往往是随机的。此外还需要线性功放。QAM 在有线电视、Wi-Fi 无线局域网(LAN)、卫星和蜂窝电话系统中使用相当广泛，它可以在带宽有限的情况下产生最高的数据速率。

1.4 幅相键控 (APSK)

幅相键控(APSK)是一种从 M-PSK 和 QAM 演变而来的调制方式，这种调制方式是随着更高级 QAM 的需求的出现应运而生的。更高级别的 QAM(比如 16QAM 和更高)具有很多不同的振幅级和相移。这些振幅级更容易受噪声影响。

此外，这些多个振幅级需要线性功放，而线性功放的效率要比非线性功放(比如 C 类功放)低。振幅级数越少，或者振幅级差越小，在 PA 的非线性区工作的可能性就越大，从而提高功率水平。

APSK 使用更少的振幅级。这种调制方式基本上将符号排列到两个或更多恒定相位差为 θ 的同心环中。例如，16APSK 采用双环 PSK 格式(图 2-4)。此调制方式称为 4-12 16APSK，中心环有四个字符，外环有 12 个字符。

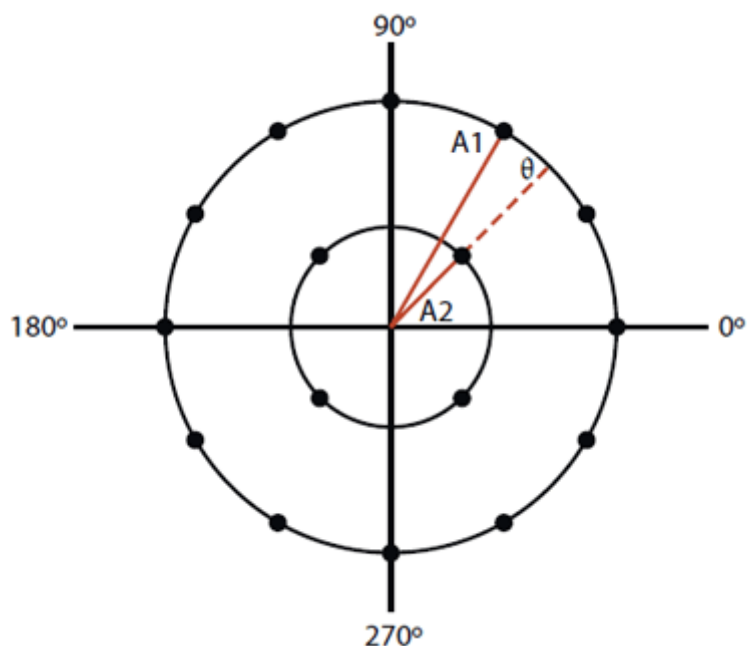


图 1-4 16APSK 使用两个振幅级 A1 和 A2 以及 16 个偏移为 θ 的不同相位位置。

采用两个振幅级差较小的振幅级时,可使放大器在更加靠近非线性区的位置工作,从而提高效率和功率输出。由于 APSK 非常适合使用普遍使用的行波管(TWT)功放,因此 APSK 主要用在卫星应用中。

二、正交振幅调制解调原理

2.1 QAM 的基本原理

在 QAM (正交幅度调制) 中,数据信号由相互正交的两个载波的幅度变化表示。模拟信号的相位调制和数字信号的 PSK (相移键控) 可以被认为是幅度不变、仅有相位变化的特殊的正交幅度调制。因此,模拟信号相位调制和数字信号的 PSK (相移键控) 也可以被认为是 QAM 的特例,因为它们本质上就是相位调制。这里主要讨论数字信号的 QAM,虽然模拟信号 QAM 也有很多应用,例如 NTSC 和 PAL 制式的电视系统就利用正交的载波传输不同的颜色分量。

QAM 是一种矢量调制,将输入比特先映射(一般采用格雷码)到一个复平面(星座)上,形成复数调制符号,然后将符号的 I、Q 分量(对应复平面的实部和虚部,也就是水平和垂直方向)采用幅度调制,分别对应调制在相互正交(时域正交)的两个载波($\cos\omega t$ 和 $\sin\omega t$) 上。这样与幅度调制相比,其频谱利用率将提高1倍。QAM 是幅度、相位联合调制的技术,它同时利用了载波的幅度和相位来传递信息比特,因此在最小距离相同的条件下可实现更高的频带利用率, QAM 最高已达到1024-QAM (1024个样点)。样点数目越多,其传输效率越高,例如具有 16 个样点的 16-QAM 信号,每个样点表示一种矢量

状态，16-QAM 有16态，每4位二进制数规定了16态中的一态，16-QAM 中规定了16种载波和相位的组合，16-QAM 的每个符号和周期传送4比特。

QAM 调制器的原理是发送数据在比特/符号编码器（也就是串 - 并转换器）内被分成两路，各为原来两路信号的 1/2，然后分别与一对正交调制分量相乘，求和后输出。接收端完成相反过程，正交解调出两个相反码流，均衡器补偿由信道引起的失真，判决器识别复数信号并映射回原来的二进制信号。如图 4-2 所示的是 16-QAM 的调制原理图。作为调制信号的输入二进制数据流经过串 - 并变换后变成四路并行数据流。这四路数据两两结合，分别进入两个电平转换器，转换成两路 4 电平数据。例如，00 转换成-3，01 转换成-1，10 转换成 1，11 转换成 3。这两路 4 电平数据 $g_1(t)$ 和 $g_2(t)$ 分别对载波 $\cos 2\pi f_c t$ 和 $\sin 2\pi f_c t$ 进行调制，然后相加，即可得到 16-QAM 信号。

采用 QAM 调制技术，信道带宽至少要等于码元速率，为了定时恢复，还需要另外的带宽，要增加 15% 左右。与其他调制技术相比，QAM 编码具有能充分利用带宽、抗噪声能力强等优点。但 QAM 调制技术用于 ADSL 的主要问题是适应不同电话线路之间较大的性能差异。要取得较为理想的工作特性，QAM 接收器需要一个和发送端具有相同的频谱和相应特性的输入信号用于解码，QAM 接收器利用自适应均衡器来补偿传输过程中信号产生的失真，因此采用 QAM 的 ADSL 系统的复杂性来自于它的自适应均衡器。

当对数据传输速率的要求高过 8-PSK 能提供的上限时，采用 QAM 的调制方式。因为 QAM 的星座点比 PSK 的星座点更分散，星座点之间的距离因此更大，所以能提供更好的传输性能。但是 QAM 星座点的幅度不是完全相同的，所以它的解调器需要能同时正确检测相位和幅度，不像 PSK 解调只需要检测相位，这增加了 QAM 解调器的复杂性。

2.2 QAM 的产生

QAM 通过载波某些参数的变化传输信息。在 QAM 中，数据信号由相互正交的两个载波的幅度变化表示。模拟信号的相位调制和数字信号的 PSK 可以被认为是幅度不变、仅有相位变化的特殊的正交幅度调制。由此，模拟信号频率调制和数字信号 FSK 也可以被认为是 QAM 的特例，因为它们本质上就是相位调制。这里主要讨论数字信号的 QAM，虽然模拟信号 QAM 也有很多应用，例如 NTSC 和 PAL 制的电视系统就利用正交的载波传输不同的颜色分量。类似于其他数字调制方式，QAM 发射的信号集可以用星座图方便地表示，星座图上每一个星座点对应发射信号集中的那一点。星座点经常采用水平和垂直方向等间距的正方网格配置，当然也有其他的配置方式。数字通信中数据常采用二进制数表示，这种情况下星座点的个数是 2 的幂。常见的 QAM 形式有 16-QAM、64-QAM、256-QAM 等。星座

点数越多，每个符号能传输的信息量就越大。但是，如果在星座图的平均能量保持不变的情况下增加星座点，会使星座点之间的距离变小，进而导致误码率上升。因此高阶星座图的可靠性比低阶要差。

QAM 信号采取正交相干解调的方法解调。解调器首先对收到的 QAM 信号进行正交相干解调。低通滤波器 LPF 滤除乘法器产生的高频分量。LPF 输出经抽样判决可恢复出 m 电平信号 $x(t)$ 和 $y(t)$ 。因为和取值为 $\pm 1, \pm 3, \dots, \pm (m-1)$ ，所以判决电平应设在信号电平间隔的中点，即 $U_b=0, \pm 2, \pm 4, \dots, \pm (m-2)$ 。根据多进制码元与二进制码元之间的关系，经 $m/2$ 转换，可将电平信号 m 转换为二进制基带信号 $x'(t)$ 和 $y'(t)$ 。

2.3 QAM 调制系统

它是把 2ASK 和 2PSK 两种调制结合起来的调制技术，使得带宽得到双倍扩展。QAM 调制技术用两路独立的基带信号对频率相同、相位正交的两个载波进行抑制载波双边带调幅，并将已调信号加在一起进行传输。 n QAM 代表 n 个状态的正交调幅，一般有二进制（4QAM）、四进制（16QAM）、八进制（64QAM）。

我们需要得到多进制的 QAM 信号，需将二进制信号转换为 m 电平的多进制信号，然后进行正交调制，最后相加输出。

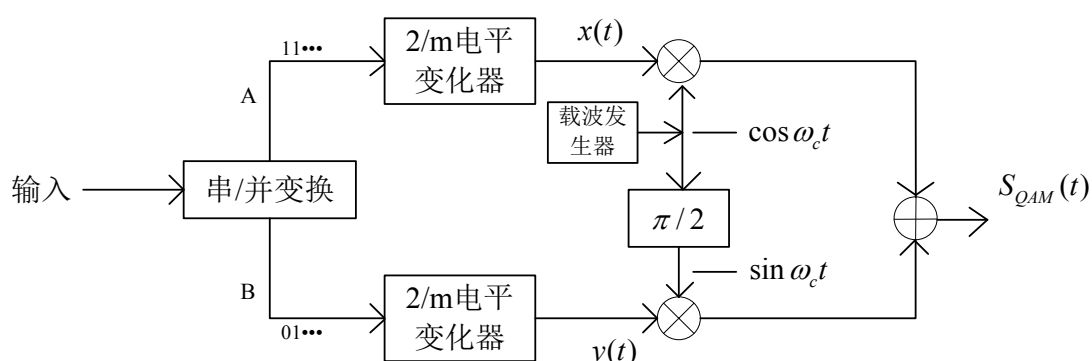


图 2-1 QAM 信号产生原理图

QAM 信号用正交相干解调方法进行解调，通过解调器将 QAM 信号进行正交相干解调后，用低通滤波器 LPF 滤除乘法器产生的高频分量，输出抽样判决后可恢复出的两路独立电平信号，最后将多电平码元与二进制码元间的关系进行 $m/2$ 转换，将电平信号转换为二进制信号，经并/串变换后恢复出原二进制基带信号。

16QAM 调制框图：

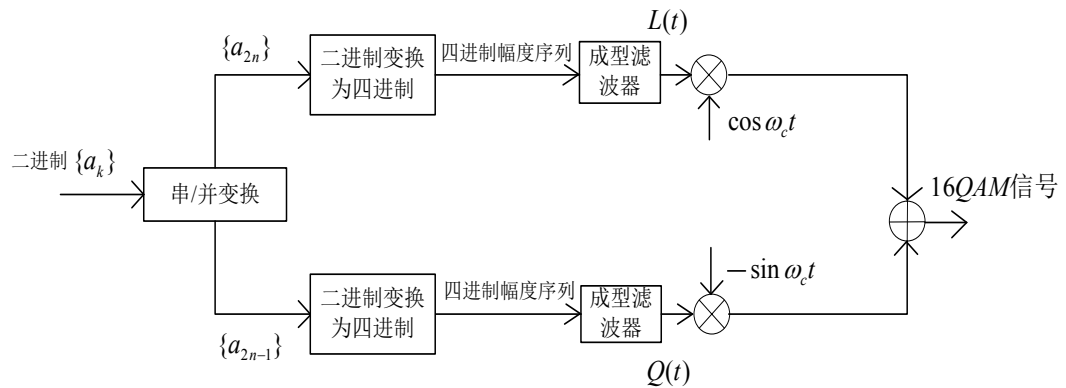


图 2-2 16QAM 信号调制框图

16QAM 最佳接收框图：

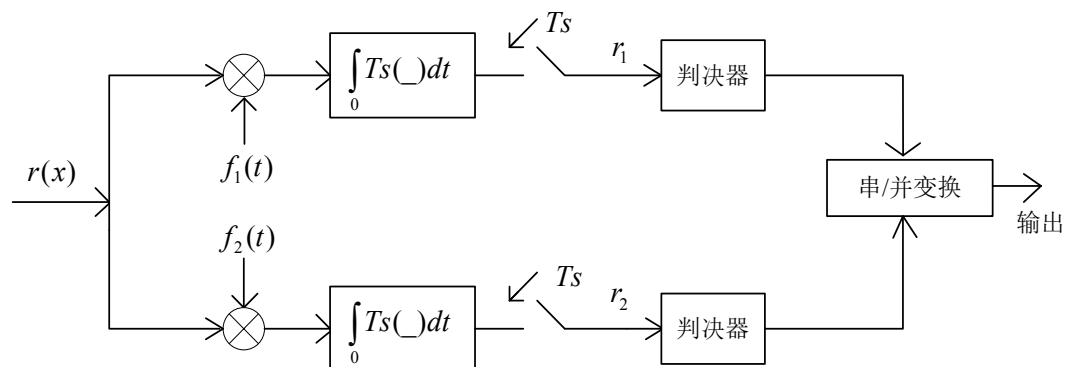


图 2-3 16QAM 最佳接收框图

2.4 QAM 调制解调原理

QAM 是用两路独立的基带信号对两个相互正交的同频载波进行抑制载波双边带调幅，利用这种已调信号的频谱在同一带宽内的正交性，实现两路并行的数字信息的传输。该调制方式通常有二进制 QAM（4QAM）、四进制 QAM（16QAM）、八进制 QAM（64QAM）、…，对应的空间信号矢量端点分布图称为星座图，分别有 4、16、64、…个矢量端点。电平数 m 和信号状态 M 之间的关系是对于 4QAM，当两路信号幅度相等时，其产生、解调、性能及相位矢量均与 4PSK 相同。

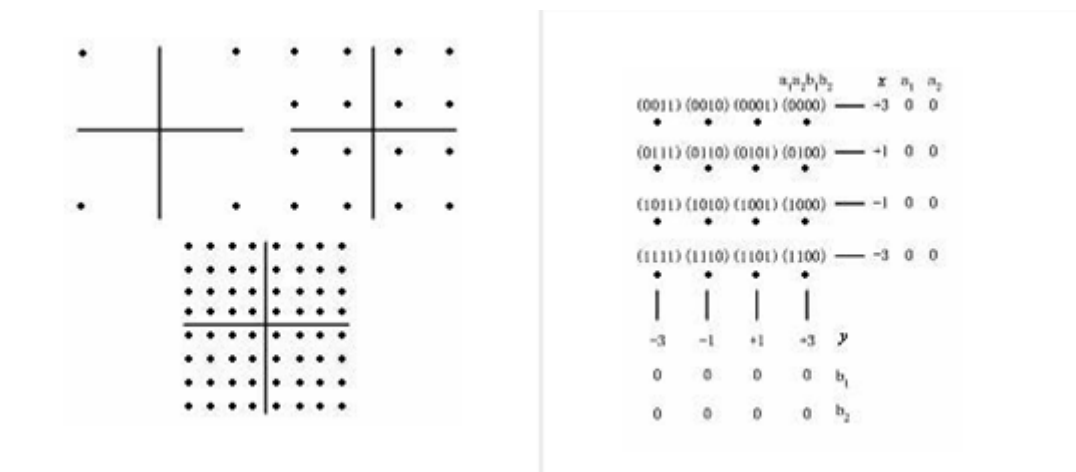


图 2-4 不同进制的 QAM 的星座图

根据上面的策略，采用了两个正交载波 $\cos 2\pi f_c t$ 和 $\sin 2\pi f_c t$ ，每一个载波都被一个独立的信息比特序列所调制。发送信号波形如下

$$u_m(t) = A_{mc} g_T(t) \cos 2\pi f_c t + A_{ms} g_T(t) \sin 2\pi f_c t, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (2-1)$$

式中 $\{A_{mc}\}$ 和 $\{A_{ms}\}$ 是电平集合，这些电平是通过将 k 比特序列映射为信号振幅而获得的。例如一个 16 位正交幅度调制信号的星座图如下图所示，该星座是通过用 $M=4$ PAM 信号对每个正交载波进行振幅调制得到的。

QAM 可以看成是振幅调制和相位调制的结合。因此发送的 QAM 信号波形可表示为

$$u_{mn}(t) = A_m g_T(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_n), \quad m = 1, 2, \dots, M_1, \quad n = 1, 2, \dots, M_2, \quad (2-2)$$

如果 $M_1 = 2^{k_1}$, $M_2 = 2^{k_2}$, 那么 QAM 方法就可以达到以符号速率 $R_B / (k_1 + k_2)$ 同时发送 $k_1 + k_2 = \log_2 M_2 M_1$ 个二进制数据。

下图为 QAM 系统的调制框图

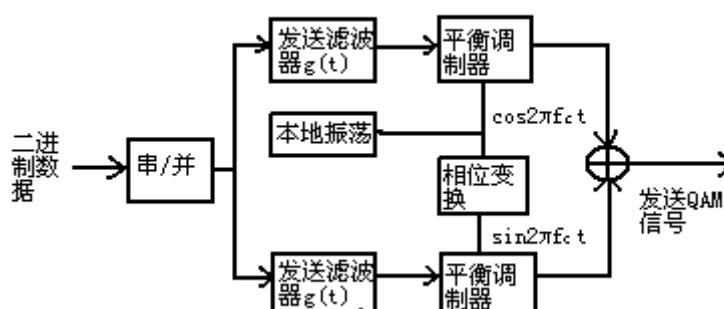


图 2-5 QAM 系统的调制框图

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/775112310034011240>