

OFDM和QAM有什么区别

原创 皮诺曹 射频通信链 2025年11月4日 10:59 江苏

QAM和OFDM对射频有多少影响？

QAM（16/64/256...）只决定“单载波”上每个符号携带多少比特。

OFDM 把高速比特流拆成 N 路低速流，每一路仍然用 QAM 去调制，再用正交子载波叠在一起。.....

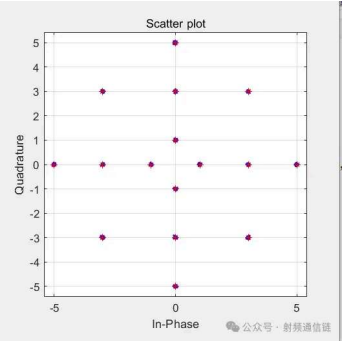
因此“OFDM vs. QAM”真正的工程命题是：.....

“多载波 QAM 叠加” vs. “单载波 QAM” 在射频层面的代价差异。

一QAM

QAM调制（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。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。

以16QAM为例，通过QAM调制可得到16个不同的波形，分别代表0000, 0001....这也意味着一共有16种符号，一个符号可以传递4 bit信息。



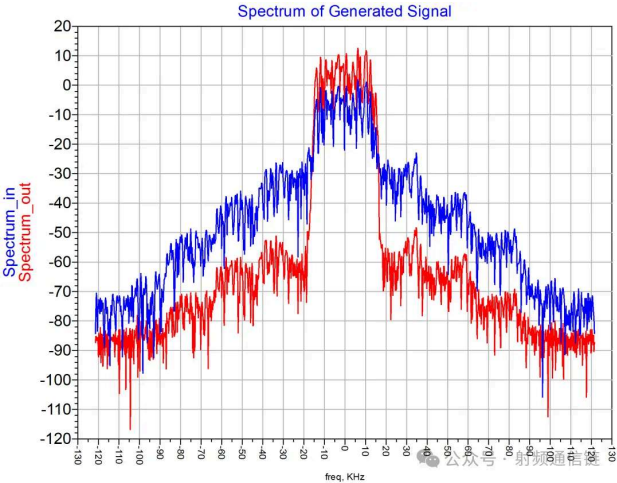
尽管较高阶的调制速率能够为无线电通信系统提供更快的数据速率和更高水平的频谱效率，但这是有代价的。较高阶的调制方案对噪声和干扰的适应性要差得多。

例如传输5Mbps的信号采用64QAM调制，信道带宽不变的情况下，传输更高的码率20Mbps，可能需要采用256QAM。

但是随之带来的抗多径能力下降。

$$T_s = \frac{1}{f} = \frac{1}{20 \times 10^6} = 50ns$$

一个符号的时间总长为50ns，一旦符号相位相差超过1/10,就容易发生信号拓展，解不对的现象。



PAR

峰均比，做宽带信号必须考虑的问题，即传输信号（电压或电流）的最大值平方和信号平方的平均值之比，计算dB的话是 $10\log$ ，如果定义均方根之比的话，计算dB就是 $20\log$ 。

通常来说峰均比越大，越不利于射频transceiver设计，比如需设计更大动态范围DAC和ADC，PA需回退更多的功率等。PAR有大小，通常需要通信算法仿真得到。

单载波的计算，16QAM

平均值：

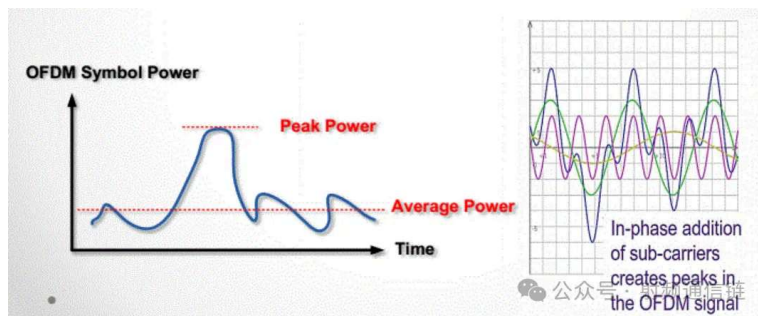
最大值： $\sqrt{18}$

那么峰均比：

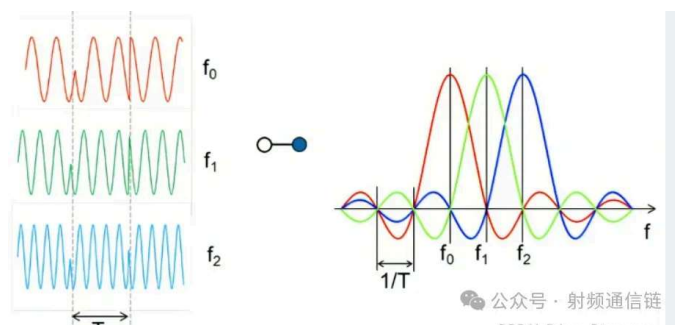
调制	单载波基带信号PAR/dB	单载波射频信号PAR/dB
16QAM, b=4	2.55	5.56
64QAM, b=6	3.31	6.32
256QAM, b=8	3.68	6.69
1024QAM, b=10	3.90	6.91
4096QAM, b=12	4.05	7.06

二、OFDM

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)即正交频分复用技术，实际上OFDM是MCM(Multi Carrier Modulation)，多载波调制的一种。



OFDM主要思想是：将信道分成若干正交子信道，将高速数据信号转换成并行的低速子数据流，调制到在每个子信道上进行传输。正交信号可以通过在接收端采用相关技术来分开，这样可以减少子信道之间的相互干扰(ISI)。每个子信道上的信号带宽小于信道的相关带宽，因此每个子信道上可以看成平坦性衰落，从而可以消除码间串扰，而且由于每个子信道的带宽仅仅是原信道带宽的一小部分，信道均衡变得相对容易。



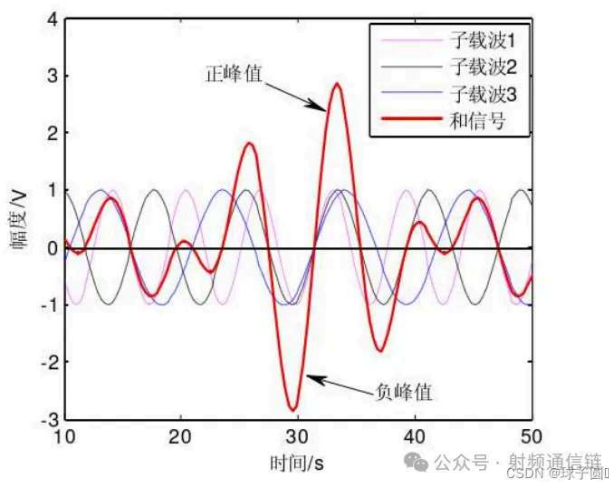
同样传输20Mbps的信号

64OFDM

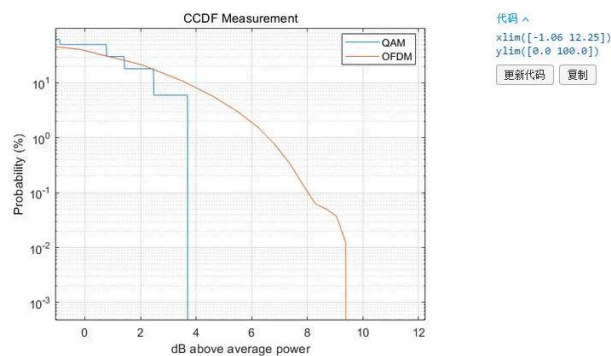
$$T_s = \frac{64}{f} = \frac{64}{20 \times 10^6} = 3.2 \mu s$$

远远小于QAM调制的符号周期，并且由于循环前缀CP的引入，由多径信道引起的ISI很容易就解决了。

OFDM的峰均比，发送端的OFDM信号是由多个相互正交的子载波求和产生的。当各路子载波上的信号出现同相求和时，会产生较大的峰值信号。



下图是QAM和OFDM的CCDF仿真对比。



Compare the PAPR values for the QAM modulated and OFDM modulated signals.

```
fprintf('\nPAPR for 64-QAM = %5.2f dB\nPAPR for OFDM = %5.2f dB\n',...
PAPR(1), PAPR(2))
```

PAPR for 64-QAM = 3.69 dB
PAPR for OFDM = 9.28 dB

可以看到OFDM的峰均比为10左右。

在同样的情况下，通道中传输OFDM信号，需要更大的回退以保证信号质量。

EVM

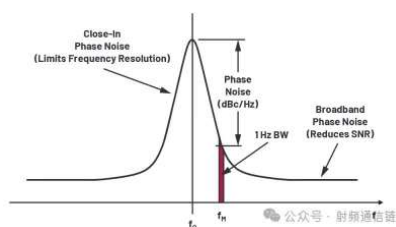
：Error Vector Magnitude，误差向量(包括幅度和相位的矢量)是在一个给定时刻理想无误差基准信号与实际发射信号的向量差，能全面衡量调制信号的幅度误差和相位误差。

EVM：星座图含有多个矢量，各矢量等概均匀分布，EVM是统计量

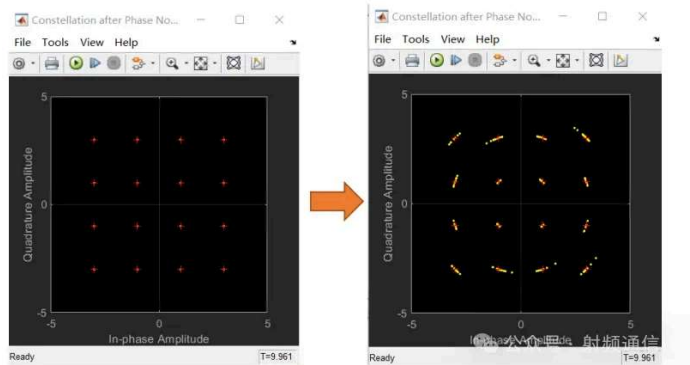
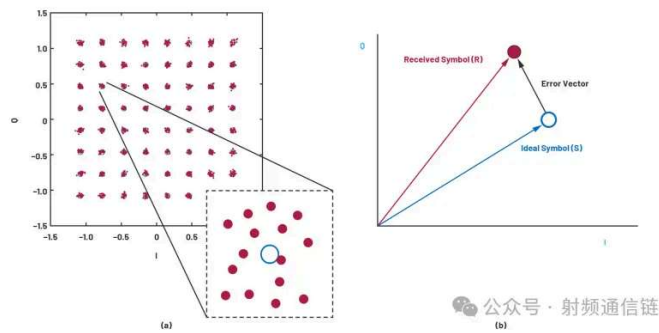
$$EVM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |a_i - \hat{a}_i|^2}{\sum_{i=1}^N |a_i|^2}} \cdot 100\%$$

$$EVM^2 \gg \frac{N}{S} \Rightarrow EVM^2 \gg \frac{1}{SNR}$$

相位噪声是影响系统EVM的另一种形式的噪声，是波形相位和频率的随机波动。特定频率偏移下1 Hz 带宽内的信号幅度与其在中心频率下的幅度之比定义即为特定 频率偏移下的相位噪声。

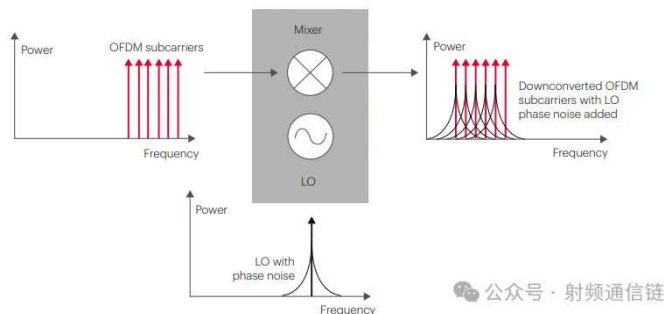


从SNR的角度来说，因为相位噪声的存在，主功率偏移处有噪声，就会恶化输入信号的SNR。...



相位噪声对EVM的影响可以通过积分计算算的。计算的结果与实际测试的结果是吻合的。

但是如果用这个方法套用在OFDM上发现计算的结果与实测结果是有出入的，那么相位噪声对OFDM的影响有什么不一样的地方吗？



OFDM是一个多载波调制，载波与载波之间是正交的。从对单载波的理解来说，相位噪声恶化SNR，同时因为相位噪声的存在会导致多载波之间不再绝对正交。

所以相位噪声对OFDM的影响是两个部分，一个是引入噪声，一个是相位不平衡。

噪声的影响叫做子载波之间的干扰（ICI），相位不平衡的影响叫做公共相位误差（Common Phase Error,CPE)

ICI的评估计算可以用相位噪声对单载波的影响评估计算。

CPE的影响计算可以根据相位不平衡的影响计算。

相位不平衡的影响在零中频的文章中分析过，就是星座图的旋转。把这两个因素叠加就是相位噪声对OFDM的影响。

最后的话

射频的学习不再是孤立的器件调试，而是从整体的角度去理解系统，理解器件，理解指标。

射频收发系统的指标设计与分解已经300+人加入了，如果你想提升射频能力，系统的学

习射频，学习射频通信，课程介绍 [戳链接](#)，除了课程视频，还有课件PPT，一群一起学习

的人，遇到问题解决不了，需要咨询，可以和群友一起讨论，也可以咨询我。

相信能帮助你走的更快、更稳、更远！

感兴趣扫码咨询。



皮诺曹

“ 射频工程师加油 ”

喜欢作者