

# 信号失真的原因及分析

原创 皮诺曹 射频通信链 2025年07月04日 14:52 江苏



射频通信链

学射频，学通信，就看射频通信链。

334篇原创内容

公众号

在数字通信系统中，数据从发送方到接收方的准确传输至关重要。但是，信号在通过通道传播时通常会发生失真。本博客探讨了信号失真的机制，重点介绍了脉冲整形、符号间干扰的挑战及其对数据误差的影响。

信号失真是如何发生的？

## 一、射频（模拟）域失真原因分析

### 1. 线性失真

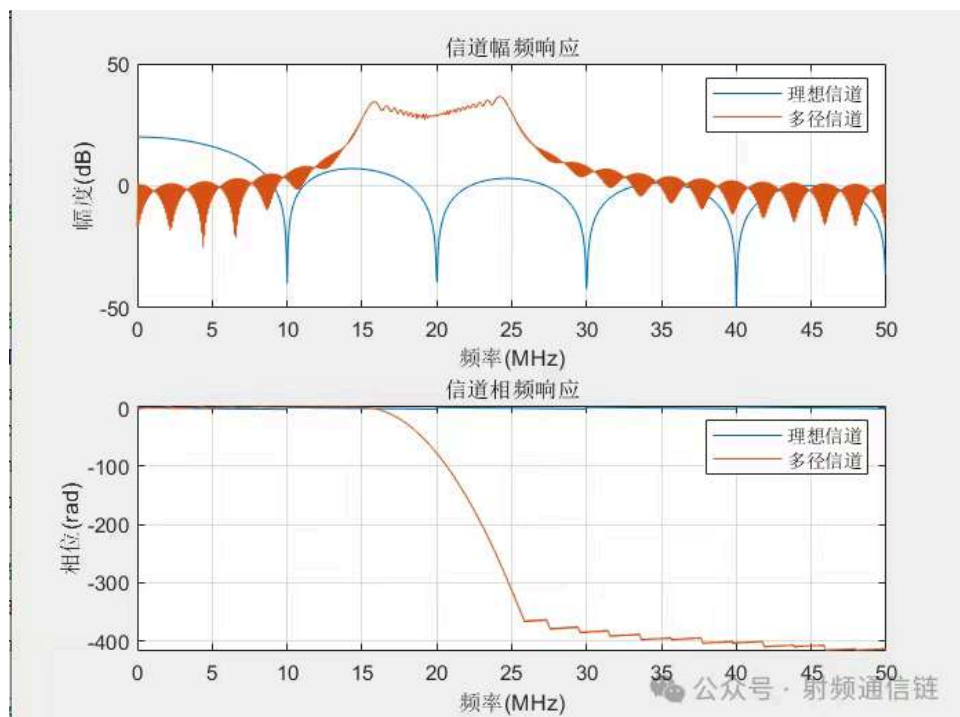
理论分析

频率选择性衰落：多径传播导致不同频率分量经历不同衰减和相移

幅度随频率变化 → 信号频谱畸变

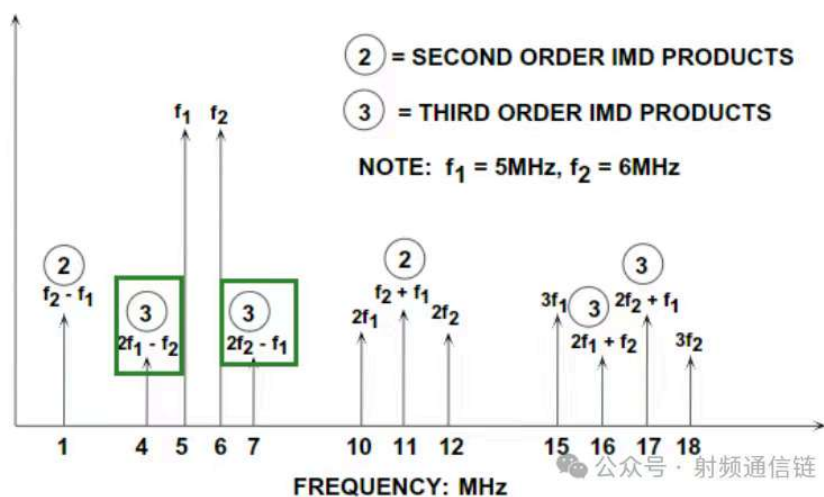
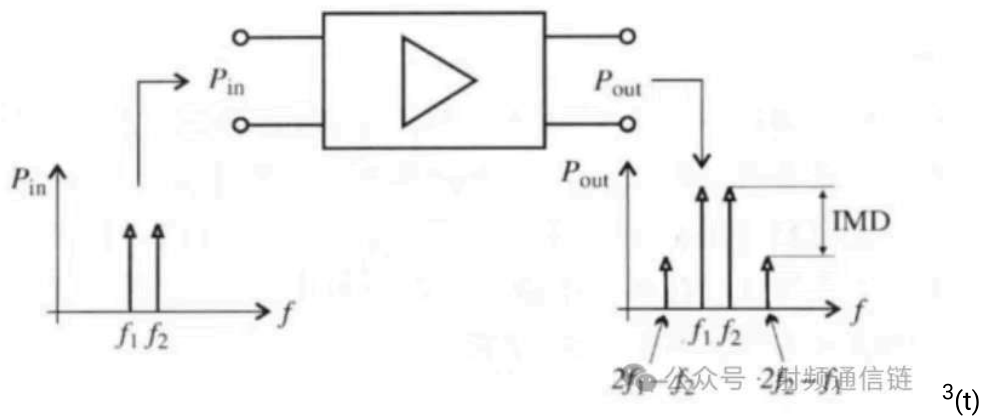
群时延失真：

$\tau_g(f) = -d\phi(f)/2\pi df$ —信号时域展宽



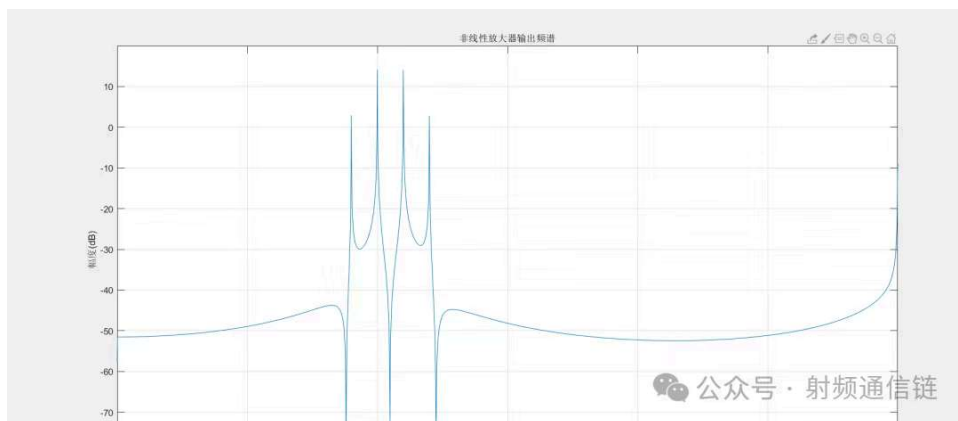
### 2.非线性失真

射频功率放大器（PA）的非线性特性是导致信号失真的主要原因之一。



其中 $a_1$ 和 $a_3$ 为线性与非线性系数。三阶交调截点（IP3）是衡量 PA 线性度的关键指标，其计算公式为： $\text{IP3 (dBm)} = P_{\text{out}} + \text{IMD3}/2$

其中 $P_{\text{out}}$ 为输出功率，IMD3为三阶交调产物功率。



### 3.相位噪声与相位失真

广告

## 全国在职研究生

NATIONWIDE ADULT UNDERGRADUATE

发布日期: 2025年4月

**招生通知:**

即日起, 各大学正式面向专科及以上在职人员招生, 2年制硕士, 全部学费12800元, 无需到校, 毕业证+学生证, 国家认可。

招生名额有限, 招满即止!

瀚旻教育

在职硕士（2025）招生：学费15000元，2年制免到校，院校颁发证书

瀚旻教育

[查看详情](#)

理论分析

相位噪声是振荡器输出信号相位的随机波动，表现为载波频谱的边带扩展。在 FMCW 雷达系统中，相位噪声会导致目标回波信号的相位误差，进而影响距离测量精度。其数学模型可表示为：

$$\phi(t)=\phi_0+\Delta\phi(t)$$

其中  $\Delta\phi(t)$ 为相位噪声的随机分量。相位噪声的功率谱密度  $S_{\phi}(f)$ 与频率偏移  $f$ 成幂律关系，通常用  $L(f)$  (dBc/Hz) 表示。

相位噪声会导致信号频谱展宽 (Eb/N0下降)

信号失真由于通信通道的限制而发生的，通信通道通常充当低通滤波器。这种滤波效果会改变传输脉冲的形状，从而导致以下问题：

二、数字失真的信号处理机理

2.1 采样误差与量化噪声

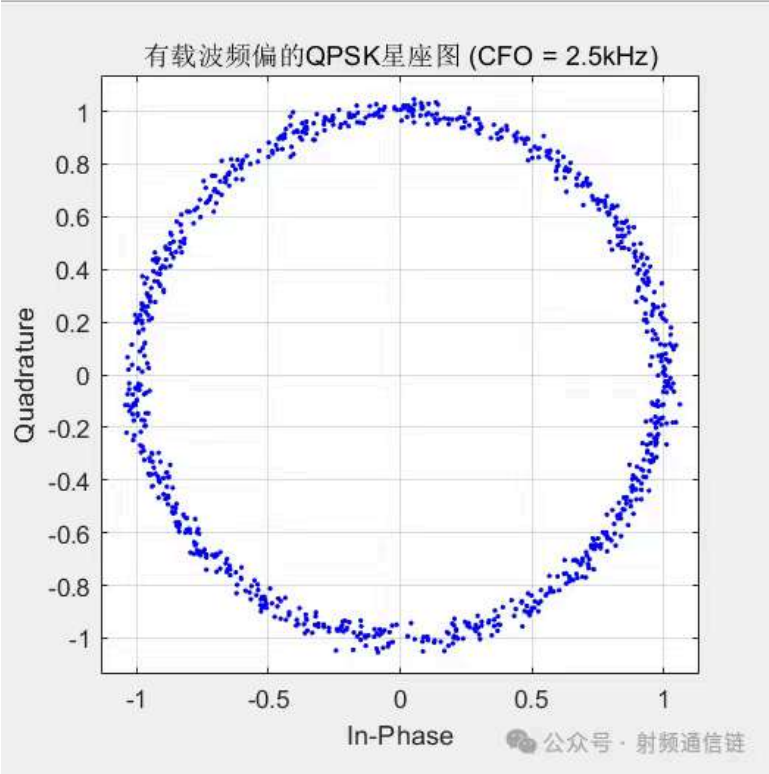
数字信号处理中的采样与量化过程会引入固有失真。根据奈奎斯特定理，采样频率  $f_s$ 需至少为信号最高频率 $f_{max}$ 的两倍，否则会发生混叠失真。量化过程中，有限的分辨率 $N$ 导致量化噪声，其均方根误差为： $\sigma_q=V_{ref}/(2^N+1)$

2.2 同步误差

定时误差：采样时刻偏移  $\Delta\tau$

载波频偏： $\Delta f$ 导致星座旋转

相位噪声残余：引起星座点扩散



三、失真的统计

失真类型	产生原因	系统影响	关键指标
射频线性失真	多径传播、滤波器响应	符号间干扰(ISI)、接收灵敏度下降	频率响应平坦度、群时延波动
射频非线性失真	放大器/混频器压缩	频谱再生、邻道干扰(ACI)	IIP3、P1dB、ACPR
相位噪声	本振相位不稳定	Eb/N0恶化、误码率平台	SSB相位噪声@偏移频率
数字ISI	信道带宽限制	判决错误率升高	眼图张开度、误码率曲线
同步误差	时钟抖动、频偏估计残余	星座旋转/扩散、误码率升高	频偏估计精度


信号失真对数据传输的影响

失真和符号间干扰会导致接收器出现**数据错误**：

•接收器将接收到的信号与阈值（称为切片电平）进行比较，以确定传输的位是“1”还是“0”。



无需下载，点开即玩！ 全套+15粉装+神兽坐骑+13阶翅膀+10万元宝！

 青云诀之伏魔

[查看](#)

•如果失真错误地将信号幅度推高或低于限频电平，接收器会错误地解释该位，从而导致误码零或误码。

四、失真缓解技术

射频前端优化

使用高线性度放大器（如Doherty PA）

采用镜像抑制混频器（IRM）改善IQ平衡

选择低相位噪声振荡器

数字信号处理技术

频域均衡（OFDM系统）

锁相环（PLL）补偿载波频偏

数字预失真（DPD）抑制功放非线性

联合优化方案

射频预滤波 + 时域均衡器

DPD + CFR（峰均比抑制）非线性联合处理

MIMO技术克服多径衰落

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，如果你也想提升射频能力，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。



请戳右下角，给我一点好看！



皮诺曹

“ 射频工程师加油 ”

喜欢作者

阅读 1307

广告

不要犹豫了，这就是你想要的休闲游戏，轻松解压又上头



花札物语

进入小游戏

留言

都在搜: 相位噪声对信噪比影响

写留言