# 压制干扰抑制

## 1.1噪声调频干扰抑制

### 1.1.1算法原理

噪声调频干扰是压制式干扰中最主要的干扰样式，它的载波的瞬时频率随调制电压的变化而变化，而振幅保持不变。当调制电压为噪声时，则为噪声调频，其信号形式为

 (1.1)

(1.1)式中，是干扰幅度，为常数，为初始频率，为常数，*K* 为比例系数，表示单位调制信号强度所引起的频率变化；调制噪声是均值为0、方差为的高斯白噪声；为 [0,2] 均匀分布、且与独立的随机变量。

噪声调频干扰具有以下特性：①功率谱密度分布满足高斯分布；②干扰总功率与载波功率相等，而与调制噪声功率无关，所以干扰的动态范围小；③带宽与调制噪声带宽无关，而取决于调制噪声的功率和调频系数；干扰频带宽度与载波频率无关．噪声调频是产生宽频带干扰的主要方法，其干扰在雷达对抗中应用十分广泛，已成为一种极其重要的干扰样式。

雷达接收机接收到的信号为目标回波信号（雷达回波、高斯白噪声）和干扰信号叠加

 (1.2)

(1.2)式中，，代表目标回波的幅度，代表噪声调频信号的幅度，为目标回波信号的瞬时相位，为噪声调频干扰信号的瞬时相位。

假设干扰信号的功率与目标回波的功率比值（JSR）远远大于1，即，则，对两边取对数得

 (1.3)

消去相位模糊可得

 (1.4)

上式的实部与虚部分别表示为

 (1.5)

由于目标回波信号为0均值信号，干扰信号的幅度可以估计为

 (1.6)

干扰信号的瞬时频率可以近似估计为

 (1.7)

根据幅度与瞬时频率重建干扰信号的估计为

 (1.8)

从雷达接收信号中去除干扰信号的估计，可得到干扰抑制后的回波信号为

 (1.9)

由于，则将噪声调频干扰信号从雷达接收信号中消去后,得到的回波信号干扰残余量很小，对后续的信号处理不会造成太大影响。

### 1.1.2噪声调频干扰抑制算法仿真实验

参数设置：

设一个脉冲时间为7.5us，采样频率为100Mhz，产生带宽为5Mhz-10Mhz，脉宽为5.5us的线性调频信号作为目标回波信号。如下图

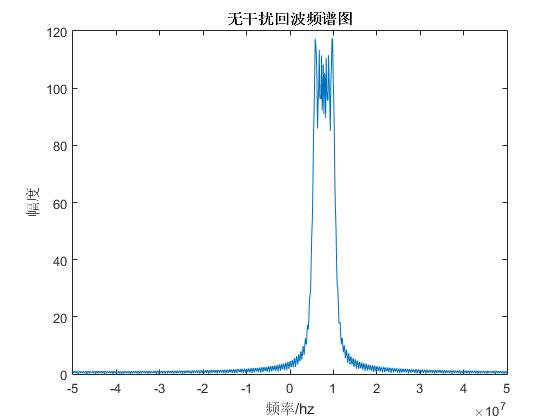
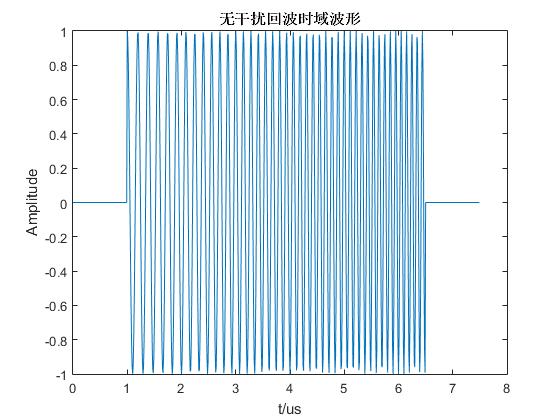
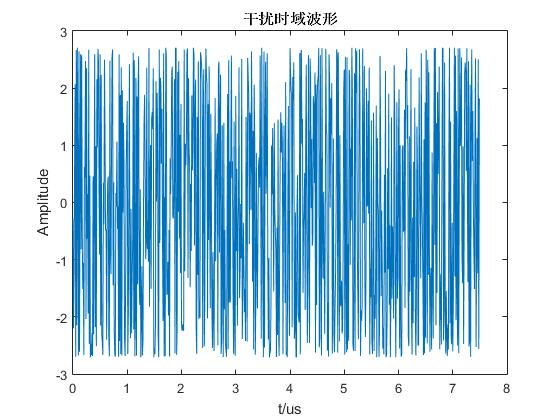


图1.1 目标回波时域与频域波形

产生噪声调幅干扰，初始频率为5Mhz，噪声序列服从均值为0，方差为2的高斯分布，且干扰与信号的功率比值为10dB，如图所示。

****

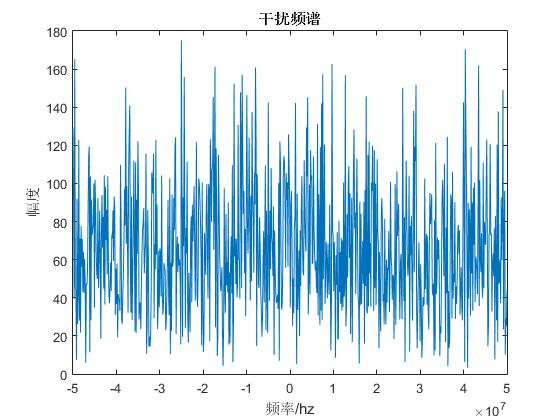
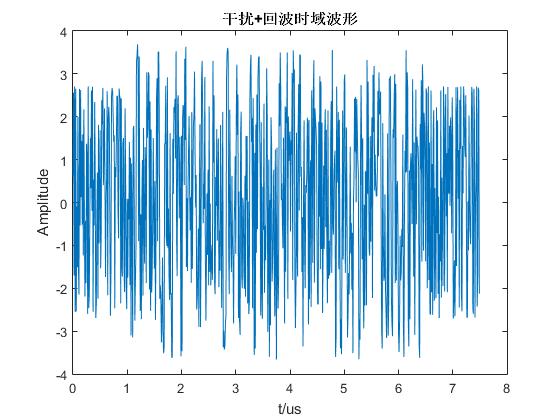
****

图1.2 噪声调频干扰时域与频域波形

将目标回波与干扰相加，得到雷达接收信号

****

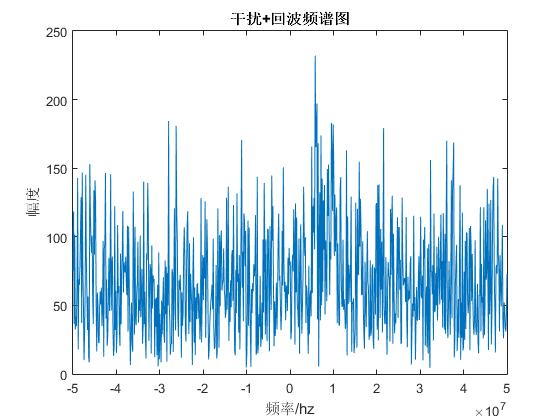
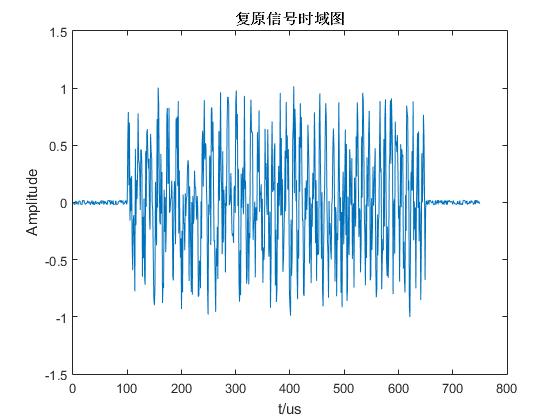
****

图1.3 雷达接收信号时域与频域波形

经过干扰抑制算法后，得到的复原信号如图所示。

****

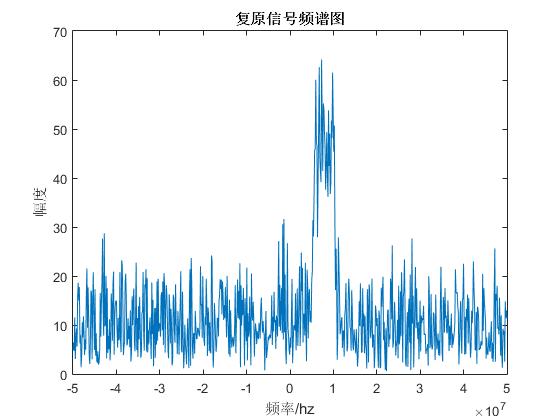
****

图1.4 抑制后信号时域与频域波形

综上，该算法能够在干扰信号强于目标回波10dB以上时，复原出目标回波信号。

### 1.1.3噪声调频干扰抑制算法性能分析

分析抑制算法的机理，干扰信号重建时需要估计其幅度变化，估计的可行性建立在干扰功率大于目标回波功率的假设前提上，故当干扰功率小于目标回波功率时，抑制算法不能正确的运行。

当JSR>0dB时，环境JSR与抑制后JSR的曲线图如下所示。

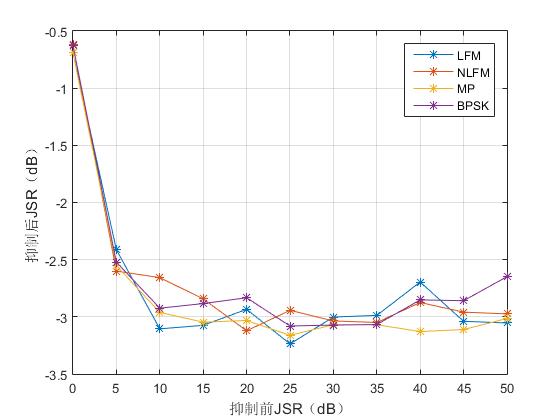


图1.5 噪声调频干扰抑制性能分析

当JSR>10dB时，经过干扰抑制算法后，输出信号的JSR在-3dB左右，而当JSR<0dB时，算法抑制性能略差，四种信号抑制性能差别不大，说明了算法的通用性高。

## 1.2噪声调幅干扰抑制

### 1.2.1算法原理

噪声调幅干扰是另一种重要的压制干扰样式，具有信号产生简单，带宽可变，压制效果明显等优点，目前较广泛地应用于对雷达进行瞄准式或复合式干扰。随着干扰技术的发展，进入雷达接收机的干扰信号能量可超过雷达回波信号达数十分贝以上，雷达回波信号完全淹没于干扰信号中。

噪声调幅信号的信号模型如下所示。

 (1.10)

其中，为载波电压，调制噪声是为0均值、方差为的高斯带限白噪声，为干扰信号中频，为干扰信号在[0,2]均匀分布的初始相位。

同样地，雷达接收信号为目标回波与干扰信号的叠加。

 (1.11)

一般情况下，干扰调制频率不能精确对准雷达回波信号频率。

1）同样假设干扰信号功率远大于目标回波信号功率。考虑基于噪声调幅干扰信号模型，如果能够准确估计式(1)中干扰信号载波参数 (载频，初相)，并对干扰信号进行解调，利用解调后干扰与回波信号在频域特点，则可以实现干扰对消，达到抑制干扰的目的。

首先进行干扰频率与相位估计，对接收信号两边取对数得到

 (1.12)

展开干扰项得到

 (1.13)

式中，为周期函数，容易看出周期函数的频率与初相与干扰信号的频率和初相一致，在强干扰背景下，周期函数的频率估计可由频谱最高峰线得到，初相估计可以通过相关法求得。

其次进行干扰幅度估计，由于干扰功率远大于信号回波功率，干扰幅度估计可用雷达接收信号幅度近似估计，最终得到的重建干扰信号为

 (1.14)

由此得到目标回波信号的估计

 (1.15)

1. 当JSR较小时，即干扰功率小于目标回波功率时，1）中方法不在适用，此时的频谱如下图所示。

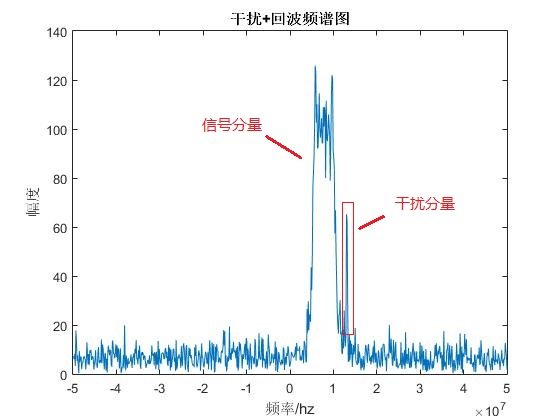


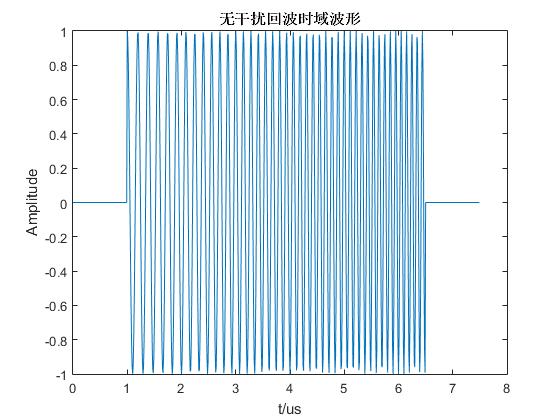
图1.6 JSR较小时雷达接收信号频域图

此时通过加一个适当的滤波器即可滤除干扰信号，获得较为纯净的目标回波信号。

### 1.2.2噪声调幅干扰抑制算法仿真

参数设置：

设一个脉冲时间为7.5us，采样频率为100Mhz，产生带宽为5Mhz-10Mhz，脉宽为5.5us的线性调频信号作为目标回波信号。如下图



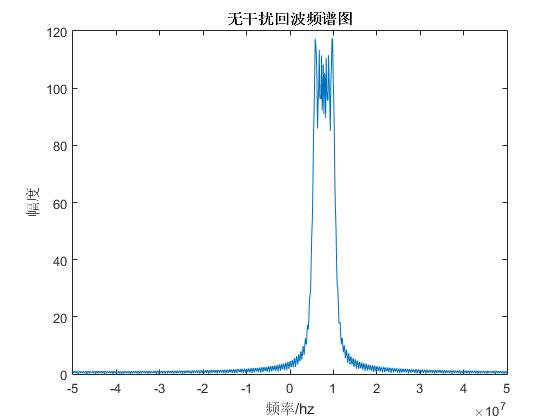


图1.7 目标回波信号时域与频域图

**A JSR较低时**

同时产生干扰信号，中心频率为13Mhz，并设置干扰功率与目标回波信号功率的比值为-10dB，干扰信号的时域与频域图如下所示。

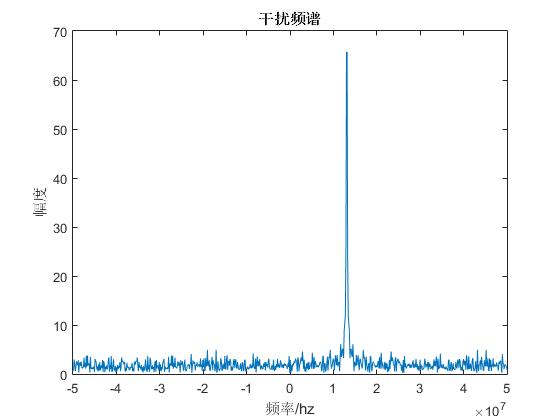
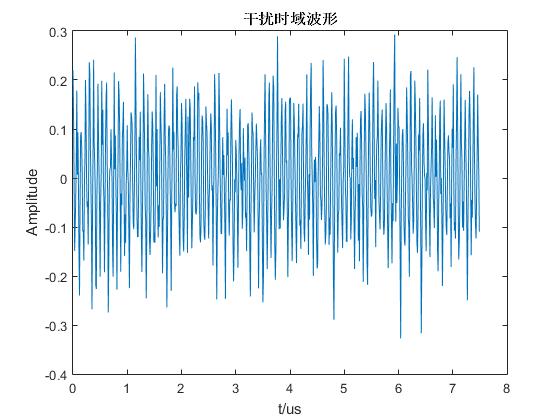


图1.8 噪声调幅干扰时域与频域图

雷达接收信号的时域和频域如下图所示。

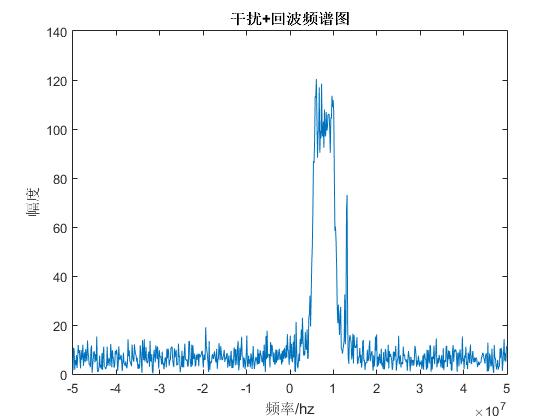
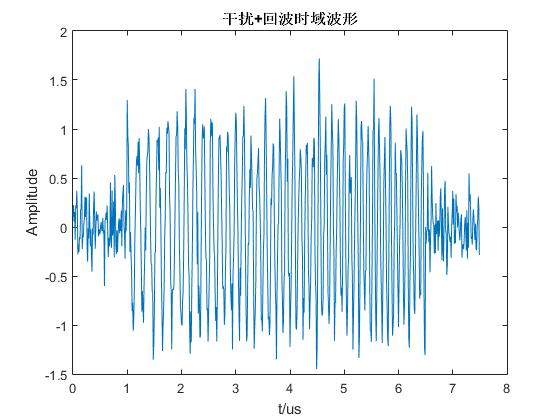


图 1.9 JSR较小时雷达接收信号时域与频域图

经过2）方法滤波后，得到的复原信号如下图所示。

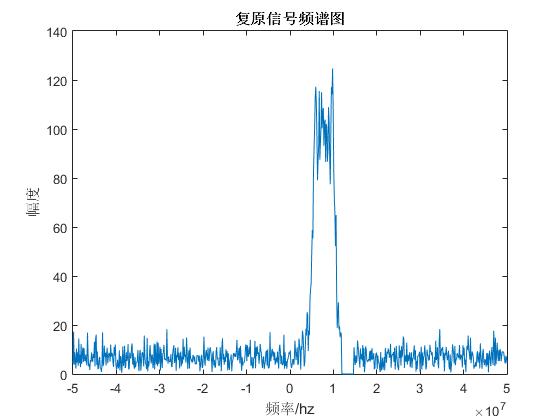
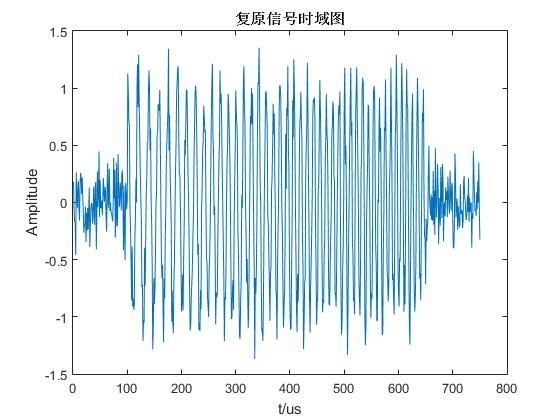
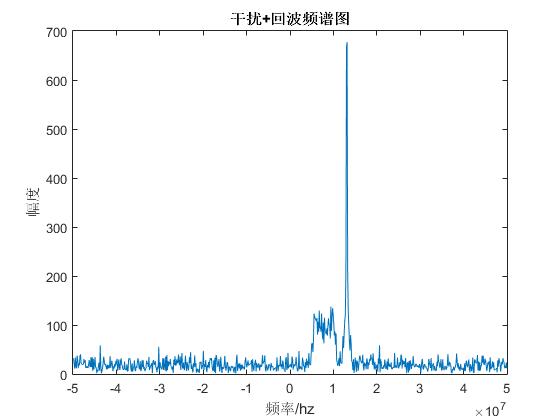
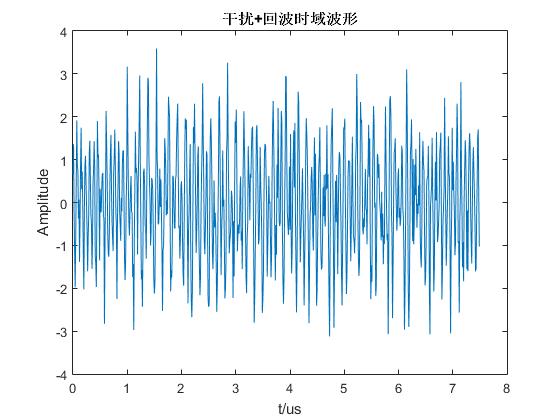


图1.10 抑制后信号时域与频域图

从复原信号频谱可以看到，在13Mhz的干扰信号频谱被滤波器滤除，抑制后信号的时域比抑制前信号的时域波形更加平滑。

**B JSR较高时**

产生干扰信号，中心频率为13Mhz，并设置干扰功率与目标回波信号功率的比值为+10dB，接收信号的时域和频域波形如下图所示。



1.11 JSR较大时雷达接收信号时域与频域图

此时直接滤波方法并不适用，使用1）方法进行压制干扰抑制，得到的复原信号如下图所示。

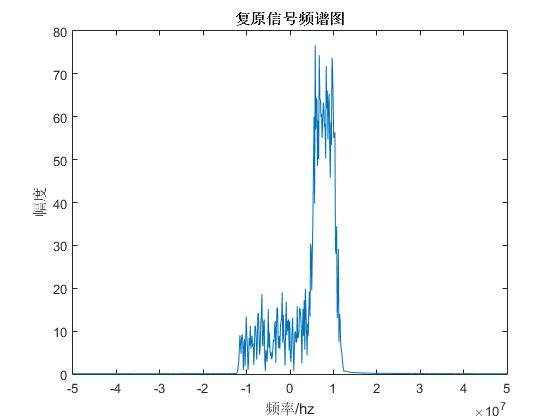
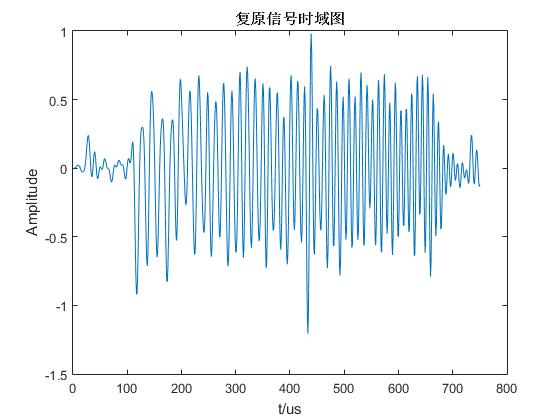


图1.12 抑制后信号时域与频域图

从上图可以看出，抑制算法1)在高JSR的情况下，仍能较好地复原出目标回波信号。

### 1.2.3噪声调幅干扰抑制算法性能分析

当JSR>0dB时，四种信号的噪声调幅干扰抑制性能如下图

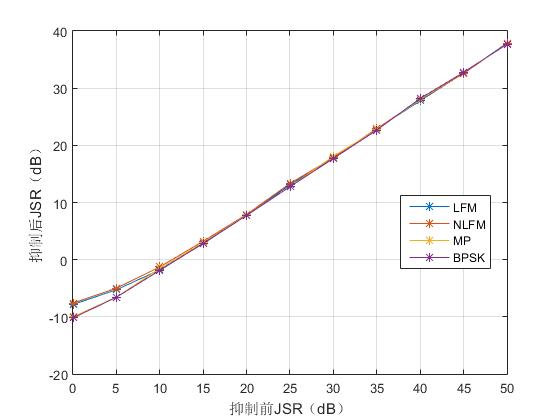


图1.13 噪声调幅干扰抑制算法性能图

从图中可以看出，在JSR较小时，有不错的干扰抑制效果，但当JSR过大时，抑制效果不佳。