

基于 ACM 的 LFM 信号抗瞄准式干扰方法

(一) 背景意义

1. 雷达在现代战争中的重要性及弱点

雷达是现代战争中不可缺少的电子设备。然而，它容易受到干扰，这是其一个致命弱点。由于雷达接收机只接收其工作频段内的信号，针对雷达工作频率的压制干扰是常用的干扰方式。

2. 瞄准式干扰的特点及对抗的重要性

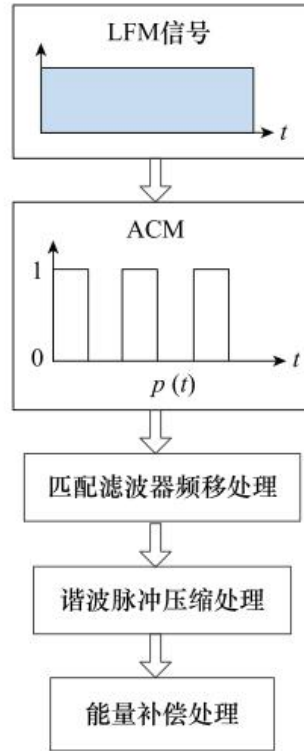
瞄准式干扰采用频带宽度仅略大于雷达接收机工作带宽的干扰信号，其干扰功率集中，干扰频带较窄，干扰功率利用率高，干扰效果好。如何对抗瞄准式干扰是雷达抗干扰领域研究的热点问题。

3. 现有抗瞄准式干扰研究的局限

目前针对抗瞄准式干扰的研究主要集中在雷达信号频率设计方面，如频率捷变和脉内多载频等。频率捷变信号不易与动目标显示和脉冲多普勒体制兼容。脉内多载频信号虽有较强抗干扰能力，但也存在一些问题。

(二) 算法过程

1. 总体处理过程



首先，通过设计 ACM 信号，实现雷达信号的频谱搬移，并根据 ACM 信号参数对匹配滤波器进行频移处理，获得谐波脉压的参考信号。

其次，对谐波进行脉冲压缩处理，得到目标回波在谐波处的一维距离像。

最后，通过能量补偿，弥补 ACM 带来的能量损失，即可得到与原始信号回波一致的目标一维距离像。

2. ACM 抗干扰原理和方法

(1) ACM 抗干扰基本原理

幅度编码信号是一个矩形脉冲串，其公式如下：

$$p(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \otimes \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_s)$$

对其进行傅里叶变化，可以得到其频谱为：

$$P(f) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \tau f_s \text{sinc}(nf_s \tau) \delta(f - nf_s)$$

可以看出，其幅度编码信号的频谱由一系列等间隔搬移的冲激函数叠加构成，其搬移距离由调制频率 f_s 决定，各阶幅度服从 sinc 函数分布。根据此特性，ACM 即是对雷达信号在频谱是的频谱搬移。

利用此特性，当回波频谱主周期被干扰时，对匹配滤波器进行频移处理，使其频谱处于未被干扰的谐波分量处，通过对谐波进行脉冲压缩处理，即可获得目标一维距离像。

(2) ACM 抗干扰方法

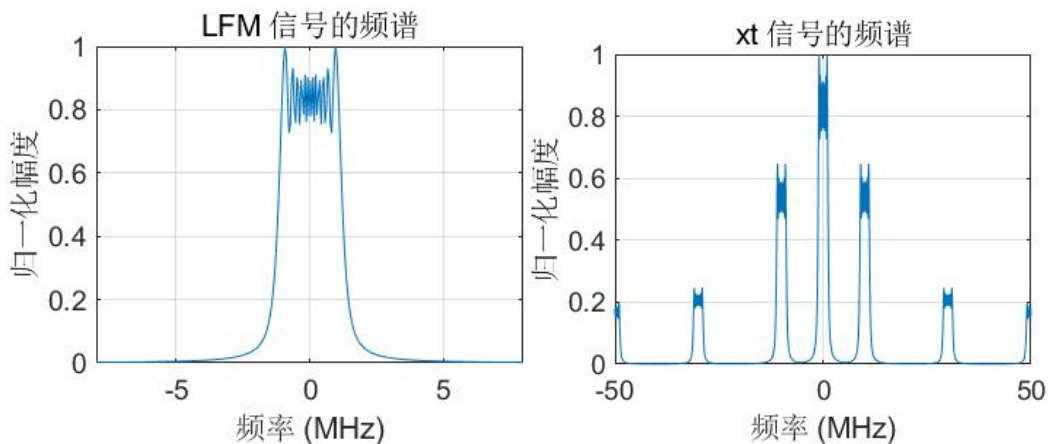
雷达发射的 LFM 信号，其表达式如下：

$$s(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right) \exp[j2\pi f_0 t + j\pi \mu t^2]$$

对 LFM 信号进行 ACM，得到的调制后信号为：

$$x(t) = p(t)s(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \exp[j2\pi f_0 t + j\pi \mu t^2]$$

其 $s(t)$ 函数和 LFM 信号进行 ACM 后的 $x(t)$ 函数的频谱图如下：

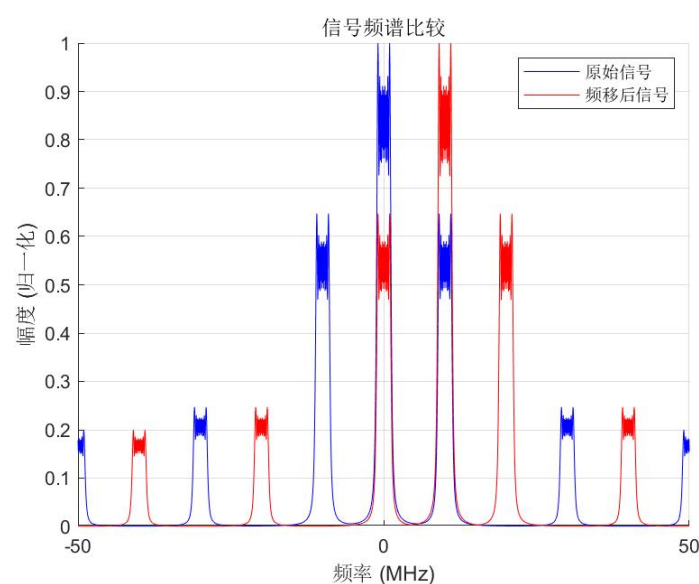


3. 匹配滤波器设计

当回波频谱主周期被干扰时，对匹配滤波器以 f_s 为间隔作频移处理，即将脉压参考信号载频 f_0 频移至谐波处，得到谐波脉压信号为：

$$s_r(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right) \exp[j2\pi(f_0 + nf_s)t + j\pi\mu t^2]$$

其第一次谐波处的频谱频移图如下：



4. 抗瞄准式干扰回波处理

匹配滤波器的传递函数为 $h(t)$ ，其公式如下：

$$h(t) = s^*(-t)$$

频移后的匹配滤波器，其公式如下：

$$h_s(t) = h(t) \cdot \exp[j2\pi f(n)t]$$

雷达信号通过频移，匹配滤波处理后的输出为：

$$y(t) = s(t) \otimes h_s(t)$$

雷达信号被 $j(t)$ 干扰时，被干扰的信号通过频移，匹配滤波处理后的输出为：

$$y_j(t) = s_j(t) \otimes h_s(t) = [s(t) + j(t)] \otimes h_s(t) = y_x(t) + j(t) \otimes h_s(t) = y_x(t) + j(t) \otimes [s^*(-t) \cdot \exp(j2\pi f(n)t)] \quad (21)$$

通过匹配滤波输出衰减幅度，得到其补偿系数为：

$$C = \frac{n\pi}{\sin(nD\pi)}$$

(三) 实验结果与分析

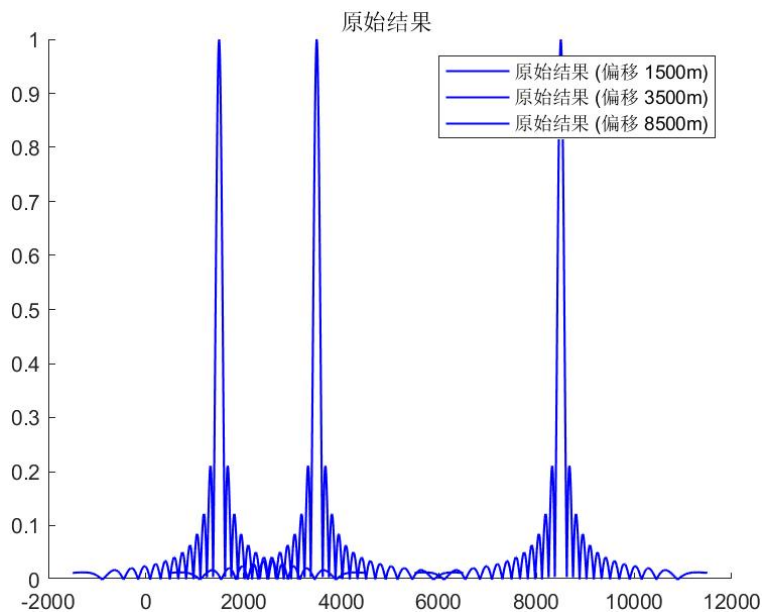
1. 仿真参数

表 1 仿真实验参数表

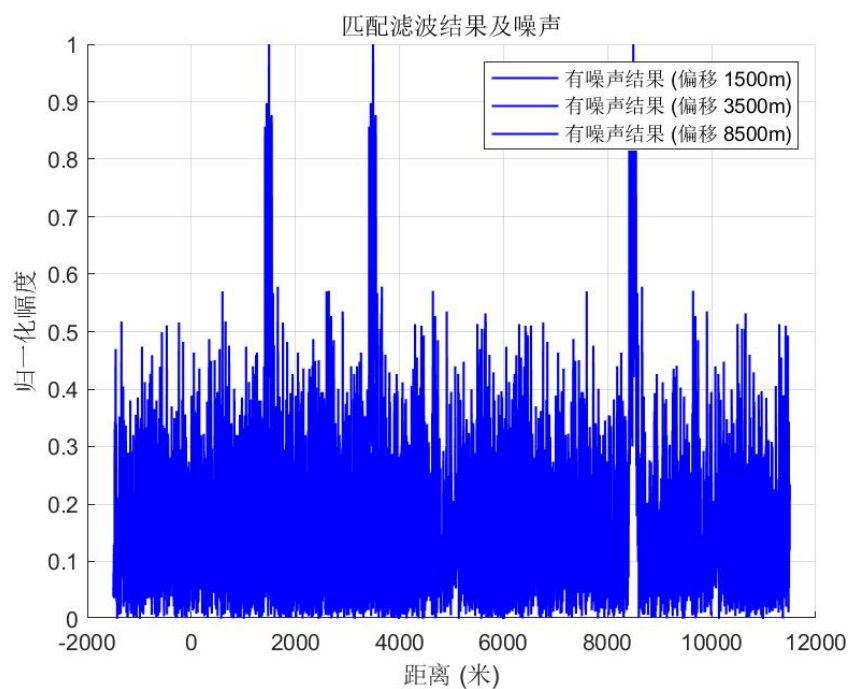
Table 1 Table of simulation experiment parameters

参数	数值
LFM 信号脉宽/ μs	10
LFM 信号带宽/MHz	5
ACM 频率/MHz	20
幅度编码信号占空比/%	0.5
点目标数量	3
点目标位置/m	1 500、3 500、8 500
干扰信号类型	高斯白噪声
干扰信号带宽/MHz	8

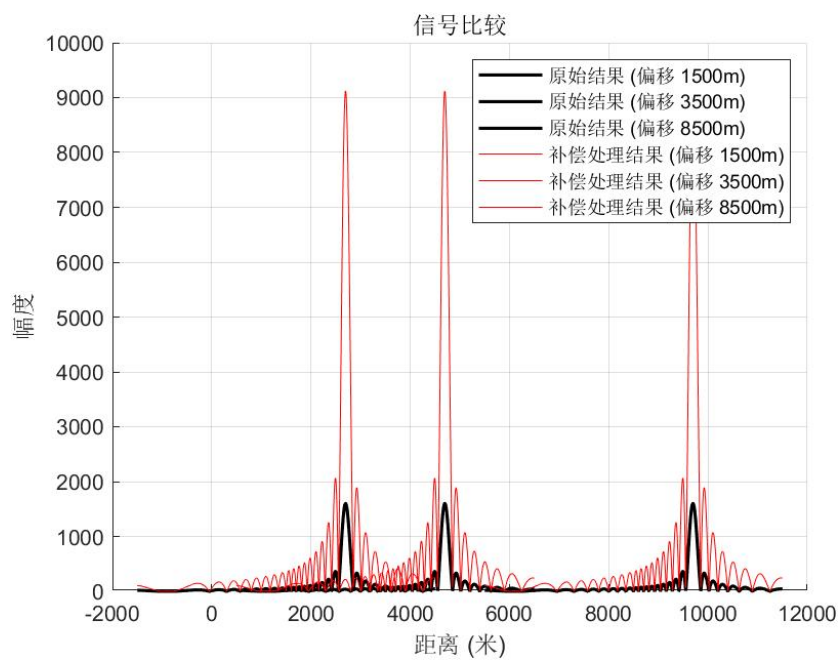
2. 仿真内容



图(a)



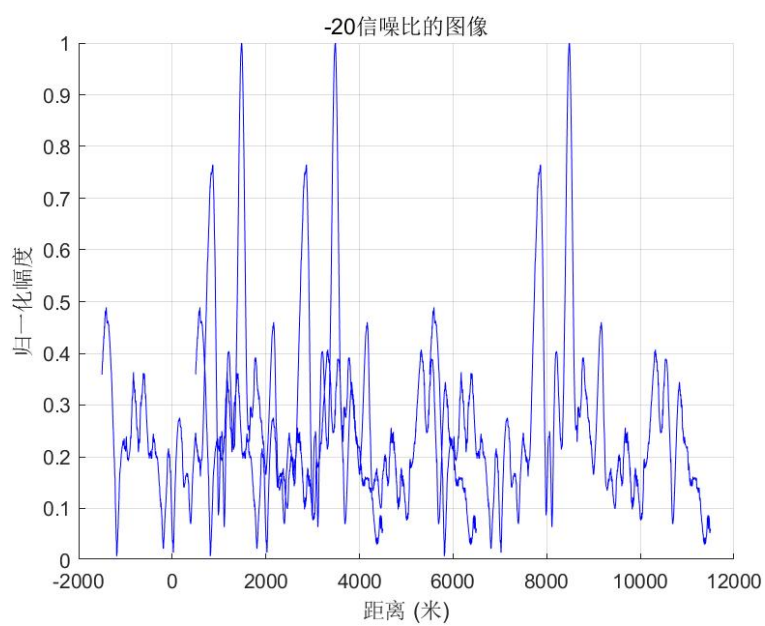
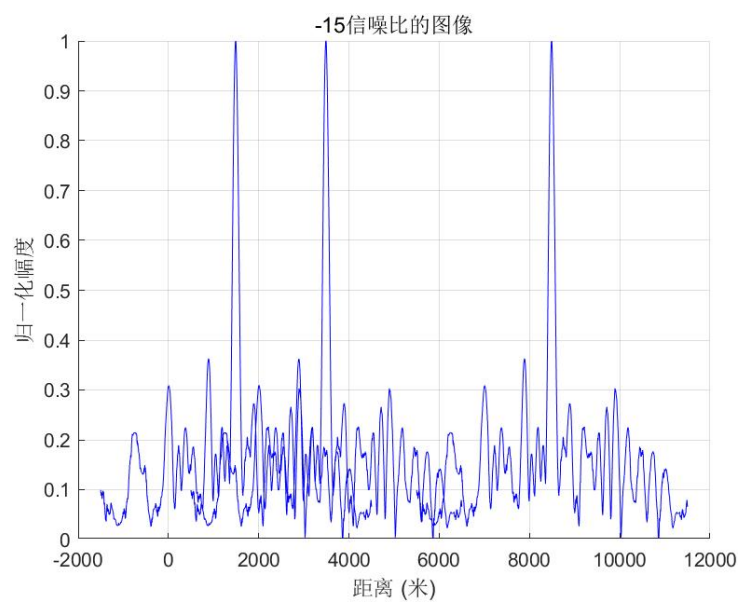
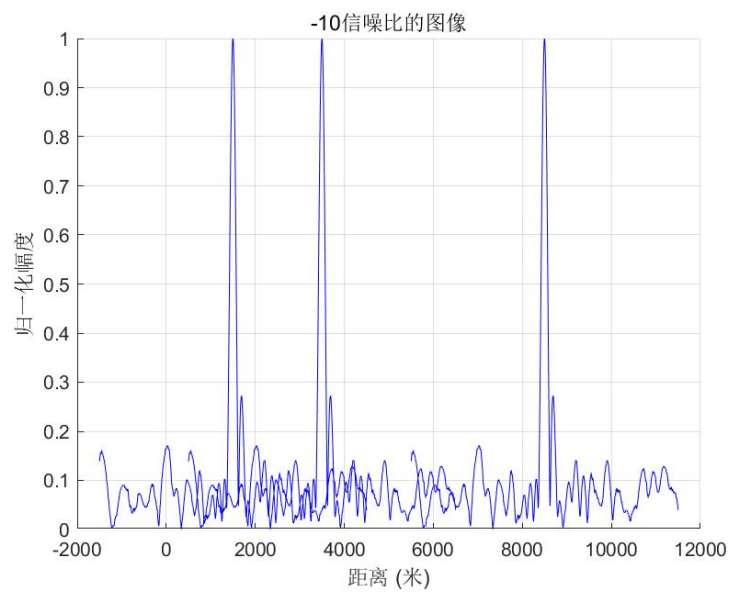
图(b)

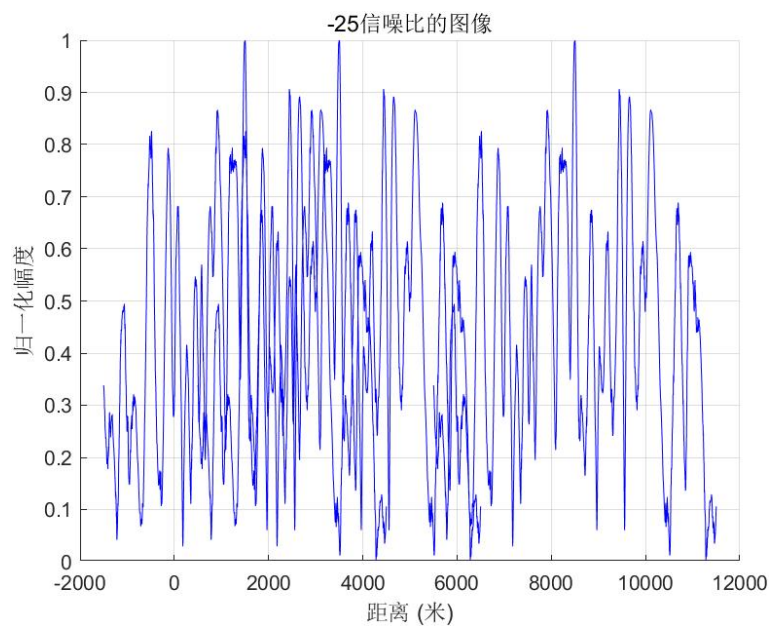


图(c)

图(a)，是原始 LFM 信号回波的一维距离像。图(b)，是被干扰 LFM 信号回波一维距离像。图(c)，是 ACM 信号回波一维距离像和其加上补偿之后的一维距离像。

3. ACM 信号抗瞄准式干扰在不同信噪比下的性能

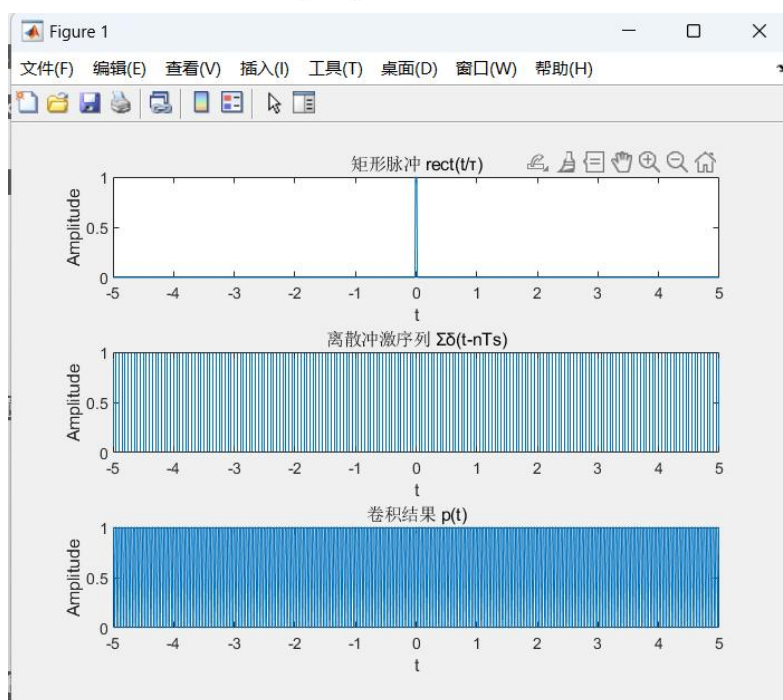




(四) 遗留问题

1. 用论文中公式得到的 ACM 后的 LFM 信号图像不正确。

$$p(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \otimes \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_s)$$



需要自己去设置矩阵的个数来进行 $x(t)$ 的运算。

$$x(t) = p(t)s(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \exp[j2\pi f_0 t + j\pi \mu t^2]$$

2. 被干扰的 LFM 信号回波脉压结果，不知道该如何去添加噪声，导致雷达回波信号被污染不够严重。
3. 最后不同信噪比的结果和论文中有差异，复现的结果没有论文那么理想。

