

基于去冲激响应的UWB雷达目标识别

刘东红¹, 张永顺¹, 陈志杰², 刘远亮³

(1. 空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800; 2. 空军装备研究院雷达所, 北京 100085; 3. 空军雷达学院, 武汉 430010)

摘要: 提出了基于去冲激响应的UWB雷达目标识别方法, 在理论上对该识别方法进行了详细地推导, 并给出了该方法中所用到的窄脉冲的选取准则; 最后, 通过计算机模拟, 给出了两种飞机模型不同姿态下的近似冲激响应数学模型, 在此基础上对这两种飞机模型进行了识别仿真。从仿真结果来看, 此识别方法效果良好。

关键词: 超宽带雷达; 目标识别; 冲激响应; 高斯脉冲

中图分类号: TN957.7 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2006)05-0056-04

对雷达目标识别的研究, 在国内外已经形成热点算法, 近年来, 涌现出时频分析、小波多分辨分析、神经网络、高阶谱和分形理论等雷达目标识别^[1-6]。但由于问题本身的复杂性, 使得雷达目标识别问题至今还没有满意的答案, 尚无成熟的技术和方法。因此, 对雷达目标识别技术的研究具有重要的应用价值。

Chen K M 和 Nyquist D P 等人在文献[7]、[8]中提出了基于波形综合法的雷达目标识别。在实际的操作过程中, 准确地提取目标极点是一件繁琐的事情。为了克服此弊端, 提出了基于去冲激响应的UWB雷达目标识别方法, 只要用特殊的超宽带窄脉冲照射感兴趣的目标以获取其近似冲激响应, 根据近似冲激响应得到的匹配波形激励该目标时会得到与匹配波形密切相关的期望窄脉冲。但是, 应用该方法的关键之处是窄脉冲的合理选取。本文阐述了基于去冲激响应的UWB雷达目标识别方法的基本原理, 提出了窄脉冲选取的准则, 并给出了计算机的仿真试验结果。

1 识别方法的基本思想

在UWB雷达系统中, 假设 $w(t)$ 为零均值、单边带功率谱密度为 N_0 的平稳高斯白噪声, 并且与目标的冲激响应 $h(t)$ 不相关, 则目标在发射信号的激励下, 其回波信号 $s(t)$ 为

$$s(t) = x(t) * h(t) + w(t) \quad (1)$$

式中 $x(t)$ 为发射信号。

目标回波信号的频域表达式为

$$S(\omega) = X(\omega)H(\omega) + W(\omega) \quad (2)$$

雷达检测目标的最理想情况是发射波形照射到待观察目标之后, 其回波为冲激函数 $\delta(t)$, 对应于回波的频谱为一常数, 而对于非观测目标则没有此效果。这样, 回波信号中不直接体现目标的冲激响应特征, 也就相当于将回波中的目标的冲激响应去掉, 由此, 定义此准则为去冲激响应准则。

为了达到上述目的, 假定式(2)中没有噪声的存在, 欲使待观测目标回波的频谱为一常数, 则 $X(\omega) = C/H(\omega)$, C 为常数, 亦即当 $X(\omega) = 1/H(\omega)$ 时, 目标回波频谱 $S(\omega) = 1$, 其对应的时域表达式 $s(t) = \delta(t)$ 。也就是说, 当发射信号的频谱为待检测识别目标冲激响应频谱的倒数时可以完全符合目标检测识别的理想情况。符合此准则的最优发射波形的频域表达式为

$$X_{opt}(\omega) = 1/H(\omega) \quad (3)$$

收稿日期: 2005-07-19

基金项目: 国防预研基金资助项目(413220402); 陕西省自然科学基金资助项目(2004F21)

作者简介: 刘东红(1977-)男, 河北邢台人, 博士生, 主要从事防空武器电子对抗、雷达信号处理研究;

张永顺(1961-)男, 陕西咸阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事防空武器电子对抗、雷达信号处理研究。

对绝大部分要检测识别的目标来说,不可能直接得到它们的冲激响应,而且获取目标冲激响应也是一个比较复杂的过程。因此,实际中可以发射窄脉冲信号照射感兴趣的目标以获取它的近似冲激响应,来取代其真实的冲激响应,建立目标的匹配发射波形库。近似冲激响应的获取有多种途径:一是在微波暗室中对流比模型进行测试,;二是在野外测试场对真实目标进行测试;三是在计算机上应用合理的算法(例如,FDTD 算法^[10-11])进行建模仿真。

首先,发射一 UWB 窄脉冲信号对待观测的目标进行照射,得到该目标某一姿态下的回波信号

$$s(t) = x(t) * h(t) \tag{4}$$

式(4)中的回波信号即可作为该目标某一姿态下的近似冲激响应波形,根据上面的去冲激响应准则,对用式(4)表示的近似冲激响应波形 $s(t)$ 进行 Fourier 变换得其频域表达式 $S(\omega)$,接着对 $S(\omega)$ 求倒数得出该目标某一姿态下的最优匹配发射信号的频域表示式,即

$$S_{opt}(\omega) = \frac{1}{X(\omega)} = \frac{1}{X(\omega)H(\omega)} \tag{5}$$

用式(5)的最优匹配发射波形照射该目标(其姿态不变),得到其频谱为

$$R(\omega) = S_{opt}(\omega)H(\omega) = \frac{H(\omega)}{X(\omega)H(\omega)} = \frac{1}{X(\omega)} \tag{6}$$

从(6)式可看出此时回波信号的频谱已不再是理想的常数,而是发射信号频谱的倒数。因此在去冲激响应准则下,目标回波信号的表达式中不再含有目标冲激响应的表现形式,而只与发射信号密切相关。

2 窄脉冲的选取

由以上的描述可知基于去冲激响应法的 UWB 雷达目标识别的关键所在是窄脉冲的选取,所选取的窄脉冲要满足两个条件:①窄脉冲的频谱没有零点,如果其频谱有零点,则其倒数会出现极点而引起检测误差,影响目标的识别概率;②窄脉冲频谱的倒数变换到时域中要为一比较窄的脉冲信号,这样回波的能量集中,对于后续的检测识别较为有利,抗干扰效果也较好。

通过计算机仿真试验对加矩形窗后的 Gaussian 脉冲进行了验证,发现其满足上述的两个条件。图 1(a)给出了 Gaussian 脉冲 $x_1(t) = e^{-\alpha^2 t^2}$ 的波形图,其中 $\alpha = \frac{2\sqrt{\pi}}{T}$, T 为 Gaussian 脉冲的宽度。图 1(b)是 Gaussian 脉冲 $x_1(t)$ 的频谱图,从图 1(b)中可以看出有大量的零点存在,不满足窄脉冲选取中的第一个条件。函数 $x_1(t)$ 在矩形时间窗函数 $x_2(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq 1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$ 的作用下,得到一新函数

$$x(t) = x_1(t)x_2(t) = e^{-\alpha^2 t^2} \quad 0 \leq t \leq \tau \tag{7}$$

其中 $[0, \tau]$ 为时间窗函数的时域取值范围。

把式(7)进行傅立叶变换得 $x(t)$ 的频域表达式

$$X(\omega) = X_1(\omega) * X_2(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt = \int_0^1 e^{-\alpha^2 t^2} e^{-j\omega t} dt \tag{8}$$

图 1(c) 是函数 $x(t)$ 的时域波形图,其相应的频谱图如图 1(d) 所示。由图 1(d) 可以看出这种加矩形窗的 Gaussian 脉冲的频谱不含零点,满足不含零点这一要求。下面分析这种波形频谱倒数的时域波形是不是一个窄脉冲。式(9) 是加矩形窗后 Gaussian 脉冲频谱倒数的数学表达式

$$Y(\omega) = \frac{1}{X(\omega)} = \frac{1}{\int_0^1 e^{-\alpha^2 t^2} e^{-j\omega t} dt} \tag{9}$$

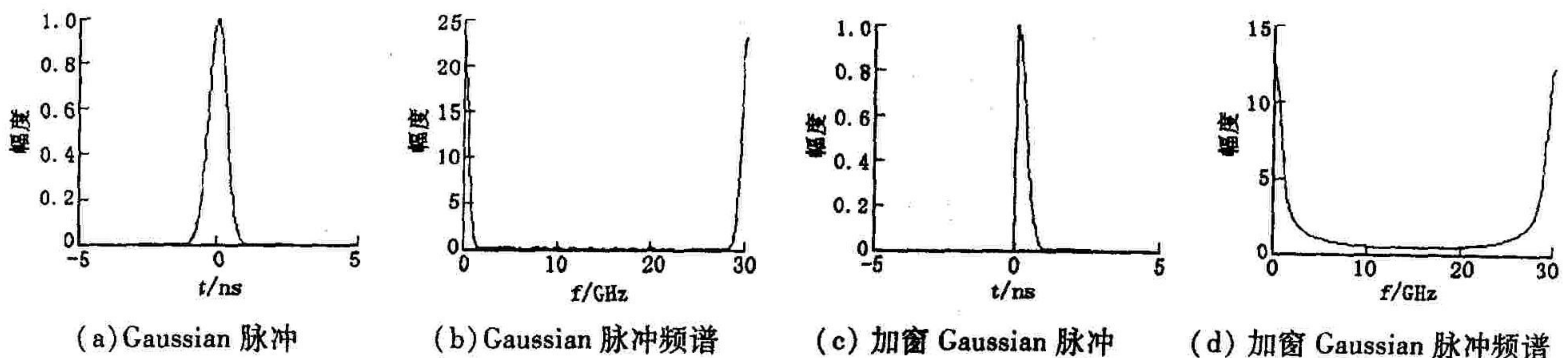


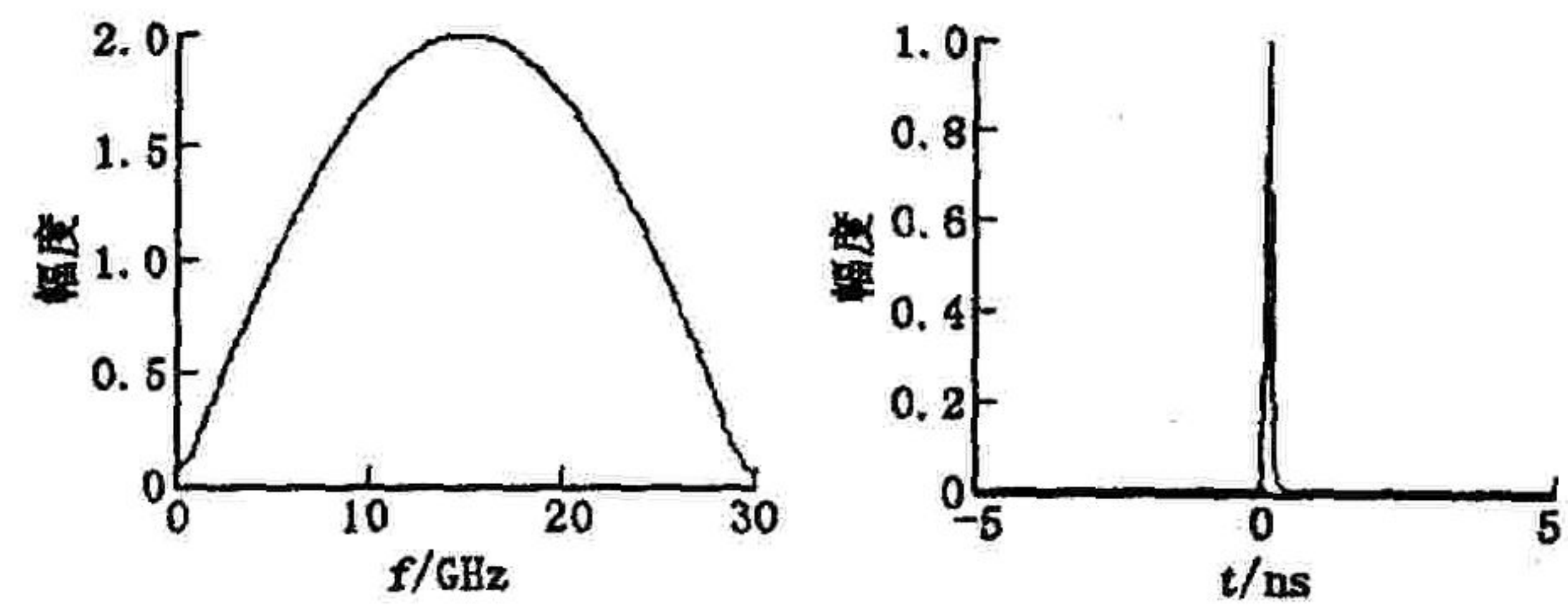
图 1 Gaussian 脉冲加窗前后的时频图

其对应的时域表达式为

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Y(\omega) e^{j\omega t} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{j\omega t}}{\int_0^1 e^{-a^2 t'^2} e^{-j\omega t'} dt'} d\omega \quad (10)$$

根据式(9)和式(10)的数学表达式 $Y(\omega)$ 和 $y(t)$ 的波形,分别如图 2(a)和图 2(b)所示。

从图 2(b)可以看出经过上述变换得到的 $y(t)$ 为一窄脉冲,且其宽度比图 1(c)所示的加矩形窗的 Gaussian 脉冲窄很多,满足窄脉冲选取的第二个条件,至此完成了所需窄脉冲的选取。



(a) $Y(\omega)$ 波形 (b) $y(t)$ 波形

2 加窗 Gaussian 脉冲频谱倒数的时频图

3 计算机仿真

下面通过计算机仿真用去冲激响应算法对两种飞机模型进行识别。首先,发射如图 1(c)所示的加矩形窗的 Gaussian 窄脉冲,照射仰角为 30° 的飞机模型,根据去冲激响应准则可以得到目标在该姿态下的匹配发射波形的频谱如图 3(a)所示(图中的虚线为目标近似冲激响应的频谱)。其次,用图 3(a)所示的 30° 仰角模型一的匹配发射波形,依次照射 0° 、 30° 仰角的模型一和模型二,通过计算机仿真试验得出了模型一 30° 仰角时的时域回波波形如图 3(b)所示,模型二的时域回波波形如图 3(c)所示,模型一 0° 仰角时的时域回波波形如图 3(d)所示。

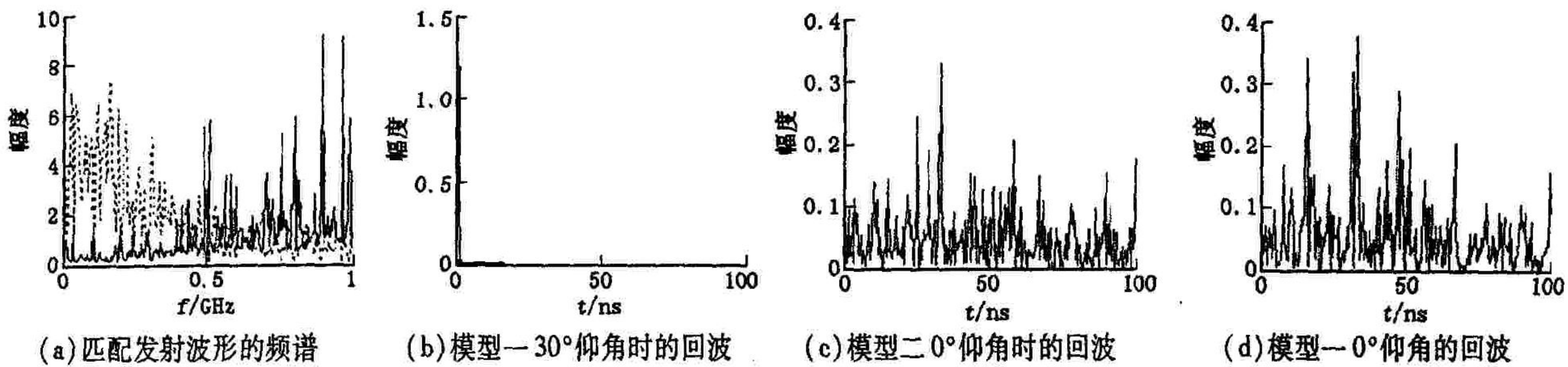


图 3 匹配发射波形激励下的模型回波

从以上的仿真结果可以看出,根据去冲激响应准则得到某一目标特定姿态下的匹配发射波形后,再用该匹配发射波形照射该目标(姿态角不变),将会得到一形同图 3(b)所示的与加窗 Gaussian 脉冲密切相关的期望窄脉冲,根据此窄脉冲很容易实现目标的检测与识别。如果照射同一目标的不同姿态或不同目标时,其回波波形如同噪声一般,如图 3(c)和图 3(d)所示,从这些杂乱无章的回波中无法得出目标的特征信息,很难完成目标的检测与识别。

图 3 结果表明在无噪声的理想状况下,可以得到预期十分理想的目标回波,但在实际应用中,噪声的存在是不可避免的。在信噪比 $SNR = 10 \text{ dB}$ 和 -6 dB 下,两种模型的近似冲激响应频谱(图中的虚线)和其匹配发射波形频谱以及匹配发射波形激励下的模型回波分别如图 4(a)和图 4(b)所示。图 4 的仿真结果证明了去冲激响应的目标识别算法具有较好抗噪声干扰能力。

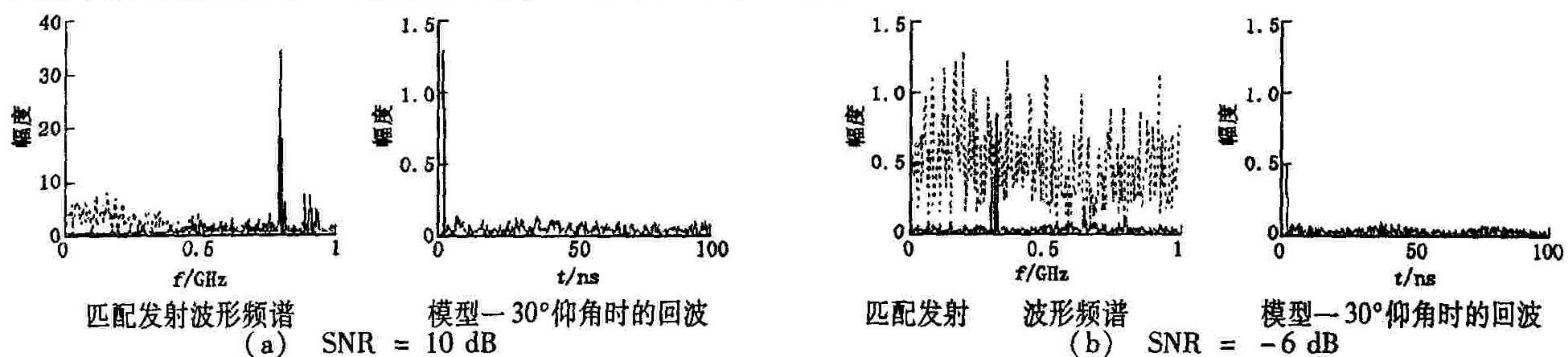


图 4 有噪声情况下匹配发射波形激励下的模型回波

4 结束语

理论分析和计算机仿真试验结果表明,应用去冲激响应方法实现UWB雷达目标识别是可行的,从仿真结果可以看出—模型的匹配发射信号激励另一不同的模型,得到的回波波形截然不同,差别甚大,对提高目标的识别概率十分有利。

参考文献:

- [1] Sebbani Z, Delisle G Y. Target Recognition Using Wavelets Decomposition[A]. International Conference on Radar Systems [C]. 2003: 191 - 194.
- [2] Shi Yu, Zhang Xian - da. A Gabor Atom Network for Signal Classification With Application in Radar Target Recognition[J]. IEEE Signal Processing, 2001, 49(12): 2994 - 3004.
- [3] Xu Xiao - jian, Huang Pei - Kang, Feng Xiao - bin. An Iterative Algorithm for Ultra Wideband Radar Imaging From Randomly Fragmented Spectral Data[A]. International Conference on Radar Systems[C]. 2004: 214 - 218.
- [4] Zhang Xian - da, Shi Yu, Bao Zheng. A New Feature Vector Using Selected Bispectra for Signal Classification With Application in Radar Target Recognition[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2001, 49(9): 1875 - 1885.
- [5] 甄蜀春, 冯有前, 卜雪妮. 基于距离分类准则的雷达目标识别方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 5(6): 18 - 20.
- [6] 刘东红, 张永顺, 刘远亮, 等. 基于波形匹配的超宽带雷达目标识别[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 6(4): 16 - 19.
- [7] Chen K M, Nyquist D P. Radar Target Discrimination by Convolution of Radar Return With Extinction - Pulse and Single - Mode Extraction Signals[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1986, 34(6): 896 - 904.
- [8] Rothwell E, Nyquist D P. Radar Target Discrimination Using the Extinction - Pulse Technique[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1985, 33(6): 929 - 936.
- [9] Zhang B, Primak S, LoVetri J, et al. Joint Physical Optics and FDTD Analysis of Microwave Scattering[A]. Ultra - Wideband Short - Pulse Electromagnetics[C]. 1999, 371 - 378.
- [10] Dennis Sullivan, Jeffrey L Young. Far - Field Time - Domain Calculation From Aperture Radiators Using the FDTD Method [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2001, 49(3): 464 - 469.

(编辑:田新华)

UWB Radar Target Recognition Based on Eliminating Impulse Response

LIU Dong - hong¹, ZHANG Yong - shun¹, CHEN Zhi - jie², LIU Yuan - liang³

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China; 2. The Radar Institute, Equipment Academy of Air Force, Beijing 100085, China; 3. Air Force Radar Academy, Wuhan 210016, China)

Abstract: A method of UWB radar target recognition based on eliminating impulse response is put forward. The process of target poles extraction can be skipped when this method is used in target recognition. This target recognition method is deduced theoretically in detail, the rule of selecting narrow pulse is presented. Finally, the mathematical models of approximate impulsive response about two aircraft in different pose are obtained via computer simulating. Based on these models, two aircraft models are recognized. Simulation results show that this UWB radar target recognition method is effective.

Key words: UWB radar; target recognition; impulse response; Gaussian pulse