

MTM 算法在全固态天气雷达 LFM 信号中的应用

李睿^{1,2,3}, 唐顺仙^{1,2,4}, 何建新^{1,2}

(1. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225; 2. 中国气象局大气探测重点开放实验室, 四川 成都 610225; 3. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 4. 中国科学院大学大气物理研究所, 北京 100029)

摘要:全固态天气雷达具有较高的可靠性和较好的可维护性,但由于发射功率受到固态发射器件的限制,通常需采用脉冲压缩技术来解决探测距离与距离分辨力之间的矛盾。LFM 信号因其具有对目标的多普勒频移不敏感的特性而被用作脉冲压缩体制雷达的发射信号。经过脉压后的 LFM 信号一般通过汉明窗加权来降低过高的旁瓣,但由于脉压信号频谱非涅尔波纹的存在使得输出信号功率图起伏严重,从而对雷达的多目标检测能力产生影响。根据多正弦窗的平滑特性,基于多窗谱估计算法(MTM)提出了一种将多正弦窗加权网络与汉明函数相结合的新的加权处理方法,并将此种方法运用于 LFM 脉压信号处理的详细过程进行了介绍。通过计算机仿真实验表明:将多正弦窗加权网络应用到 LFM 信号的脉冲压缩技术中在有效降低旁瓣的同时能起到平滑功率图噪声基底,控制主瓣展宽宽度的效果,并且在实际的外场试验中验证能达到应用需求。

关键词:大气探测;气象雷达信号处理;LFM 信号;多正弦窗;旁瓣抑制

中图分类号: TN958.3

文献标志码: A

0 引言

近年来随着雷达技术的发展,技术人员对雷达的探测性能指标提出越来越高的要求。在雷达系统中,由于发射机的发射能力受到工程的限制,需要通过发射大时宽脉冲来提高发射的平均功率,以此提升雷达的作用距离。然而发射大时宽脉冲会在提高雷达探测距离的同时导致雷达的距离分辨力的下降,因此可以说提高距离探测能力是以牺牲距离分辨力来实现的。

为解决这一矛盾,脉冲压缩技术以其特有的优势被广泛地应用到线性调频雷达信号处理中。采用窗函数加权后可以有效降低脉压后信号过高的旁瓣,但由于脉压信号频谱中非涅尔波纹的存在使得输出信号的功率图起伏严重,从而使雷达对多目标的检测能力产生影响。多年来,针对脉压体制雷达体制提出了许多种抑制旁瓣的技术方案。一类是改进发射波形和编码方法的研究,提出了非线性调频信号^[1]和复合调制信号^[2]的概念,这类信号虽然对旁瓣抑制研究有一定意义,但信号形式过于复杂;另一类是根据脉压后的线性调频信号频谱具有矩形特性,在处理过程中引入适当的失配滤波器,使信号满足实际需要。常用的方法主要有:经典窗的加权处理^[3],但在抑制旁瓣的同时使得输出信号包络主瓣变宽、电平降低;3 点滑窗式旁瓣

抑制滤波器虽可以灵活改变参数以达到不同脉压的要求,但通过实验结论可知其抑制效果不佳^[4];多级自适应滤波方法抑制效果很好,计算量却过大。因此失配滤波器的选择对脉压信号旁瓣抑制效果具有相当重要的作用。

根据线性调频信号(LFM, linear frequency modulation)的频域特性,提出一种新的基于多正弦窗的多窗谱估计算法的失配滤波器。对 LFM 信号而言,多正弦窗对其频带内频谱具有更好的平滑作用,实验表明:运用此方法能在降低旁瓣的同时有效平滑功率随距离曲线图中的噪声基底,并且主瓣展宽很小,不影响系统的距离分辨力。

1 全固态天气雷达脉压技术

1.1 全固态天气雷达系统

雷达系统主要由发射机系统、数字接收机系统、天馈系统、天线座与伺服系统、频率源、信号处理系统、控制面板和显示器等部分组成(图1)。全固态天气雷达的发射机全部采用固态器件,微波振荡源和放大器等发射机电路均采用晶体管作为电子元器件,具有体积小、重量轻、可靠性高、可维护性好等优点。全固态天气雷达系统具有多扫描模式、实时标校、运行状态实时监控以及故障监测报警等功能,气象产品软件生成和显示的基本数据产品包括反射率因子、径向速度和速度谱宽^[5-7]。

收稿日期: 2015-12-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41375043);四川省高校重点实验室开放课题资助项目(QGX16014);四川省高校人文社会科学重点研究基地开放课题资助项目(ZHYJ15-YB15)

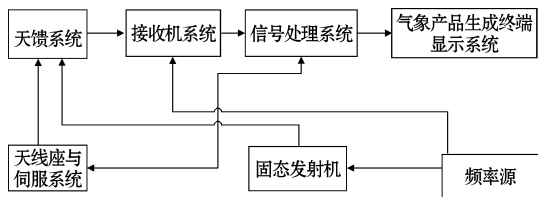


图 1 全固态天气雷达的组成框图

1.2 脉冲压缩技术

脉冲压缩技术是固态发射体制天气雷达中所应用的关键技术之一^[8-9]。在发射端,选择发射频率或相位调制且持续时间较长的宽脉冲,以此提高固态雷达的平均发射功率,从而使雷达具有较好的探测能力。在接收端,通过脉冲压缩技术对宽脉冲的回波信号进行压缩处理,处理后的数据所代表的距离分辨力将等同于发射窄脉冲时雷达所具有的分辨能力^[10]。

脉冲压缩处理通过将雷达发射的 LFM 信号与其对应的匹配滤波器相卷积来实现。脉冲压缩网络的原理如图 2 所示,其中 A 、 A_0 、 τ 、 τ_0 分别为 LFM 信号脉压前后的幅度和脉冲宽度, f_1 和 f_2 表示信号的载频呈线性变化,将 f_1 和 f_2 之差 $\Delta f = f_2 - f_1$ 表示为调制频偏,虚线方框中的 $H(f)$ 、 $W(f)$ 分别表示匹配滤波器和加权函数。脉冲压缩在时域和频域均可进行,但在时域的处理会比在频域所需的运算量更多。由于气象回波的信息量较大且须满足数据实时处理的条件,因此一般采用频率域上的脉冲压缩实现方式。对于匹配滤波处理引起的接收信号旁瓣电平升高问题,是通过在接收端中频级采用匹配滤波与频率域加权网络相结合的方式抑制旁瓣^[11]。

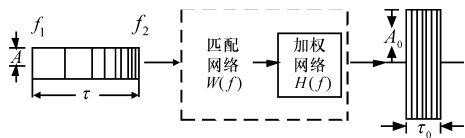


图 2 脉冲压缩网络示意图

目前,模拟和数字形式的脉冲压缩是脉冲压缩技术实现的主要方式^[12]。随着计算机性能以及电子元器件存取和处理数据能力的提升,数字式脉冲压缩技术得到了快速发展。数字式脉冲压缩技术可在雷达硬件或软件中实现。数字脉冲压缩技术可以通过硬件语言或上位机软件编程实现。由于上位机软件具有设计灵活、修改便利等特点,故在科研工作中经常采用上位机软件编程的方式来实现各种脉冲压缩算法的实现及效果检验。

I 、 Q 数据的获取是以软件方式实现数字脉冲压缩技术的基础。 I 、 Q 数据包含了天气目标的幅度和相位

等信息,其表达式为

$$\begin{aligned} I(\cdot) &= a(\cdot) \cos \varphi(\cdot) \\ Q(\cdot) &= a(\cdot) \sin \varphi(\cdot) \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $a(\cdot)$ 、 $\varphi(\cdot)$ 分别为幅度函数与相位函数。

软件数字脉压处理流程如图 3 所示。将获取的 $I(n)$ 、 $Q(n)$ 序列组合成复数序列 $f(n) = I(n) + jQ(n)$, 其中 $n = 1, 2, 3, \dots, N$, 并根据雷达发射的样本信号 $s(n)$ 产生与发射波形相对应的匹配滤波器 $h(n)$, 用以进行脉冲压缩。对于 LFM 信号来说,生成匹配滤波器 $h(n)$ 需将 $f(n)$ 进行共轭反转变换,即 $h(n) = f^*(-n)$ 。为了减小运算量,将 $f(n)$ 和 $h(n)$ 序列分别做 FFT 变换生成信号的对应的频谱 $F(k)$ 和 $H(k)$ 。 $F(k)$ 和 $H(k)$ 通过复数乘法器后可得 $Y(k) = F(k) \cdot H(k)$, 其中 $Y(k)$ 为经脉压后输出信号的频域形式。对所得的 $Y(k)$ 信号进行 FFT 反变换,即可获取脉压后信号的时域复数序列 $y(n) = I'(n) + jQ'(n)$ 。此时将 $y(n)$ 的实部和虚部分解成进行分别存储,即可根据雷达基数据产生原理,计算出反射率,径向速度,谱宽等数据产品。

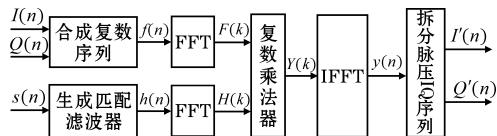


图 3 软件数字脉冲压缩方式框图

文中主要基于 VC++ 软件开发平台完成脉冲压缩方式应用程序的开发。在应用程序中加入高度优化的英特尔®集成性能基元软件函数库,可以有效提升应用程序的运行效率。图 4 为实现脉冲压缩处理软件的流程图。

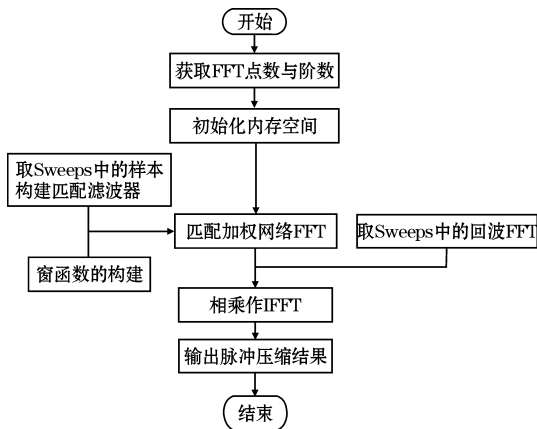


图 4 脉冲压缩处理软件实现流程图

2 多窗谱估计与多正弦窗

2.1 多窗谱估计

多窗谱估计算法又称为 MTM (multitaper method)

算法,是一种适合于短序列、高噪声背景下的周期信号,能产生低方差、高分辨率的谱估计方法,它能够起到较好的多窗平滑作用。多窗谱估计有着广泛的应用^[13]:电力、冶金等行业振动信号的检测^[14]、气候气象和地震信号处理和语音信号处理^[15]。该方法最早是由 Thomson 于 1982 年在分析地震数据时创立的。相比于传统的周期谱图(直接法),MTM 算法是对同一个数据用多个相互正交的数据窗(离散扁球序列又称 Slepian 序列)分别求直接谱,然后进行加权平均,使得到的估计方差较小。

多窗谱定义如下:

$$S^{mt}(\omega) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} S_k^{mt}(\omega) \quad (2)$$

其中:

$$S_k^{mt}(\omega) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} w_k(n) x(n) e^{-j\omega n} \right|^2$$

式中, $x(n)$ 为数据序列, n 为序列长度; N 为数据窗个数; $w_k(n)$ 为 Slepian 序列第 k 个数据窗并满足相互正交。Slepian 序列具有数据窗簇的概念,在有限采样数目的傅氏变换中具有极佳的能量集中特性,并随后快速衰减到 0。

图 5 为时间带宽积为 2.5 时 Slepian 数据窗的前 4 个窗函数,只有第一个窗是通常意义上的数据窗(类似于常用的汉明窗),其余的窗函数则主要是为了起到平滑窗口边缘数据,更好体现功率图中谱峰包络的作用,它们并不能阻止频谱的泄漏,在实际应用过程中,频谱的泄漏会随窗的数目而增加^[16]。

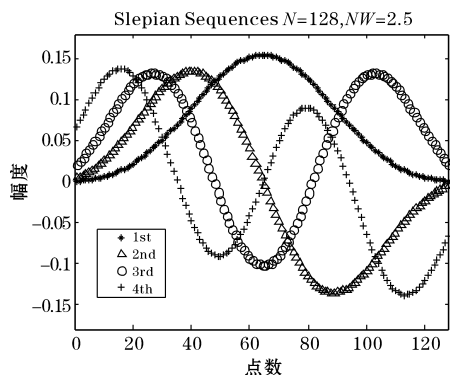


图5 前4个 Slepian 窗

2.2 多正弦窗谱估计

多正弦窗谱估计算法的基本思想是将 MTM 谱估计法中的 Slepian 窗用多正弦窗代替,且保持多正弦窗是相互正交的窗函数序列的多窗谱估计算法。相比于 Slepian 窗,多正弦窗具有确定的表达式,当信号带宽变化时,无需重新计算,因此,多窗谱估计常用多正弦窗函数作为窗函数。多正弦窗的正交数据窗函数,定

义如下:

$$w_k(n) = \sqrt{\frac{2}{N+1}} \sin\left[\frac{\pi(k+1)n}{N+1}\right] \quad n=0,1,\dots,N-1 \quad (3)$$

其中 N 表示数据长度, k 表示第 k 个正弦窗,满足:

$$\sum_{n=0}^{N-1} w_k(n) w_j(n) = \delta(k-j)。$$

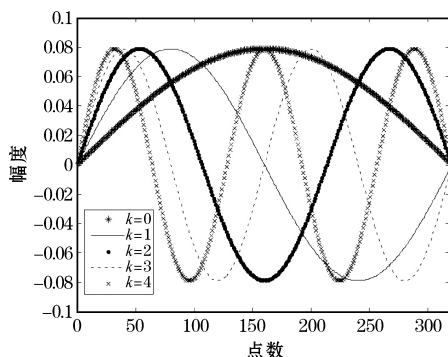


图6 $K=5$ 时的多正弦窗

图 6 为前 5 个正弦窗。与 Slepian 窗不同,多正弦窗的数目不受频谱宽度的限制,可通过增加正弦窗函数的个数来获得方差更小、更为光滑的谱,能量集中特性明显。文献[7]已对多正弦窗谱估计的性能做了详尽的理论解释,主要是将多正弦窗谱方差小的特性运用于雷达的 LFM 脉压信号中,讨论其对旁瓣抑制的效果与功率随距离变化图中噪声基底的平滑作用以及对主瓣展宽、信噪比损失的影响。

3 汉明-多正弦窗加权原理

LFM 矩形脉冲信号的复数表达式为

$$\begin{aligned} f(t) &= u(t) e^{j2\pi f_0 t} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\tau}} \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) e^{j2\pi(f_0 t + \frac{S}{2} t^2)} \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $u(t)$ 为信号的复包络; f_0 为中频或射频频率; τ 为脉冲宽度; B 为频率变化范围或称带宽; $S=B/\tau$ 为调频斜率; $D=\tau B$ 为压缩比。

在实际雷达信号处理过程中,线性调频信号脉冲压缩后得到具有 $\text{sinc}(t)$ 函数特性时域波形。图 7 为线性调频信号经脉压后(未加窗)的时、频域波形仿真图。在理想情况下,信号脉压处理后主副瓣比达到 -13.2 dB。对气象信号而言,过高的旁瓣会淹没附近弱目标的主瓣,并产生虚假的目标,进而影响到预报的准确性。因此必须进行加权旁瓣抑制处理。文献[3]一般采用下列的形式来表示钟形加权函数

$$W(f) = M + (1 - M) \cos^m\left(\frac{\pi f}{B}\right) \quad (5)$$

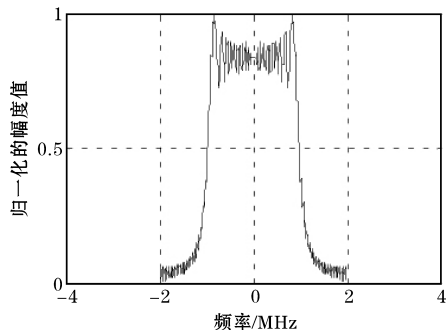
式中 M 、 m 为表示不同加权的系数。当 $M=0.08$, $m=2$ 时表示经典的汉明窗加权函数,其频域特性可以表示为

$$\begin{aligned} W(f) &= M + (1 - K) \cos^2\left(\frac{\pi f}{B}\right) \\ &= M + (1 - M) \left[\frac{\cos(2\pi f/B) + 1}{2} \right] \\ &= \frac{1 + M}{2} + \frac{1 - M}{4} [e^{j2\pi f/B} + e^{-j2\pi f/B}] \end{aligned} \quad (6)$$

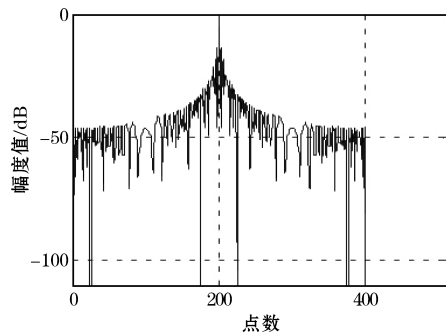
则网络的输出信号为

$$\begin{aligned} g(t) &= \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} F(f) W(f) W_k(f) e^{j2\pi ft} df \\ &= A \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} \left\{ F\left[f - \frac{\pi(k+1)}{N+1}\right] + F\left[f + \frac{\pi(k+1)}{N+1}\right] \right\} \cdot \\ &\quad \left[\frac{1 + M}{2} + \frac{1 - M}{4} (e^{j2\pi f/B} + e^{-j2\pi f/B}) \right] e^{j2\pi ft} df \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $F(f)$ 和 $W_k(f)$ 分别为 LFM 信号和多正弦窗的频域特性, A 为幅值系数。事实上,利用窗函数加权抑制旁瓣的过程可以从频谱搬移的角度来解释。经典窗函数是基本的正弦函数的组合形式,由欧拉公式和频谱搬移原理可知,频域加窗(乘上经典加权函数形式)相当于在时域上对 $\text{sinc}(t)$ 函数进行搬移后求加权。而时域信号不同谐波的峰值和谷值可以通过选择合适的系数叠加相消,以达到抑制旁瓣的目的。而选择在频域乘上多正弦窗也是为了将信号频谱进行 K 次搬移,以起到平滑的作用。从信号理论的角度进行分析,频谱的边缘跃变是使旁瓣增大的主要原因,而频域加窗可有效平滑矩形频谱的边缘跃变,提高主副瓣比。但 LFM 脉压信号的频谱虽具有矩形特性,但又不同于普通矩形信号,其频带内有菲涅尔波纹。如图 8 所示,可以看出,不同时带积的 LFM 信号幅度频谱均接近于矩形,但在频带内都有明显菲涅尔波纹,且与时带积有反比例关系。通常在理论上计算脉压输出信号的加权效果是将 LFM 信号的频谱近似为矩形,忽略菲涅尔波纹在信号频带上的起伏现象。然而,对信号采用钟形经典加权函数虽可以平滑其矩形谱的边缘部分,但其频谱的带内波纹并未得到抑制。这也是 LFM 脉压信号(特别是小时带积信号)功率图起伏的主要原因。

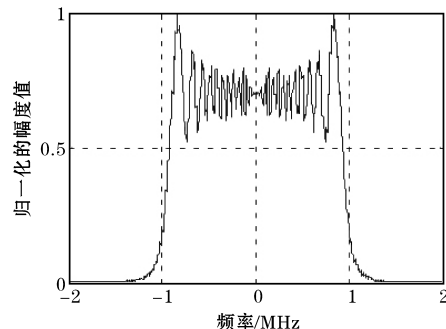


(a) 频域图

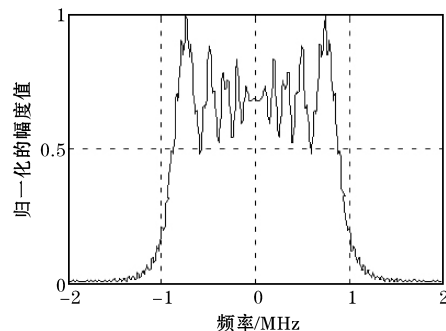


(b) 时域图(未加窗)

图 7 LFM 信号脉压后的时、频域图



(a) $TB=100$



(b) $TB=40$

图 8 压缩比不同时 LFM 脉压信号幅度频谱

多正弦窗谱估计算法能够较好地将频带内的菲涅尔波纹进行多窗平滑,并可通过增加正弦窗函数的个数来获得更为光滑的谱,但其对数据窗口的边缘平滑效果不及 Hamming 窗。在此基础上分析信号通过匹配滤波后用 Hamming 窗加权函数和多正弦窗加权函数在频域的同时作用,可使信号矩形谱的窗口数据边缘和菲涅尔波纹均得到更有效的平滑,以达到降低信号主副比和平滑功率图中噪声基底的目的。由于多正弦窗一般用于脉冲信号的频谱估计,通常是在时域加窗后进行谱估计,而 LFM 信号波形的特殊性使其可以直接运用于频域加窗。因此,对 LFM 信号的旁瓣抑制加窗算法时需对基于周期图法的原算法进行一些改进;基于 MTM 算法,通过将多正弦窗加权网络与汉明函数相结合的加权处理方法进行信号旁瓣抑制。图 9 为分别采用汉明-多正弦窗加权方法和经典的加权方法(汉明窗加权)对脉压后的信号旁瓣进行抑制的原理图。图 9 的输出波形即所求的信号旁瓣抑制波形,FFT 和 IFFT 分别表示做

快速傅里叶变换和快速傅里叶变换的反变换。将实现汉明-多正弦窗加权方法的流程描述如下:根据图2的原理说明,对经FFT变换的LFM信号在频率域做经典的脉冲压缩处理,即令信号依次通过生成的匹配滤波器和汉明窗;将此时的输出信号分别通过 K 个正弦窗后做FFT的反变换;将 K 个通道的输出响应进行加权平均,即可获得最终的输出波形。

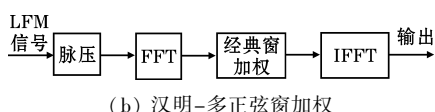
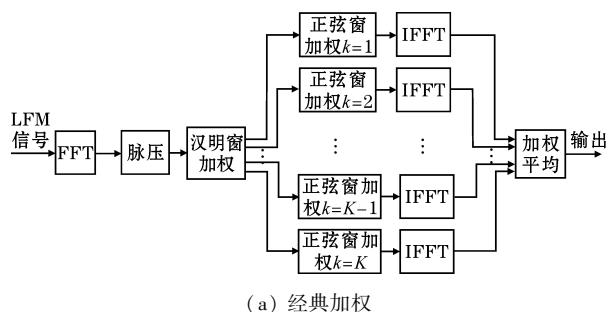


图9 LFM脉压信号经典加权与汉明-多正弦窗加权的原理框图

4 仿真及性能分析

在对比试验中,采用对脉压信号频域汉明窗加权、多正弦窗加权以及汉明-多正弦窗加权三者对比的方法来观察脉压输出信号。

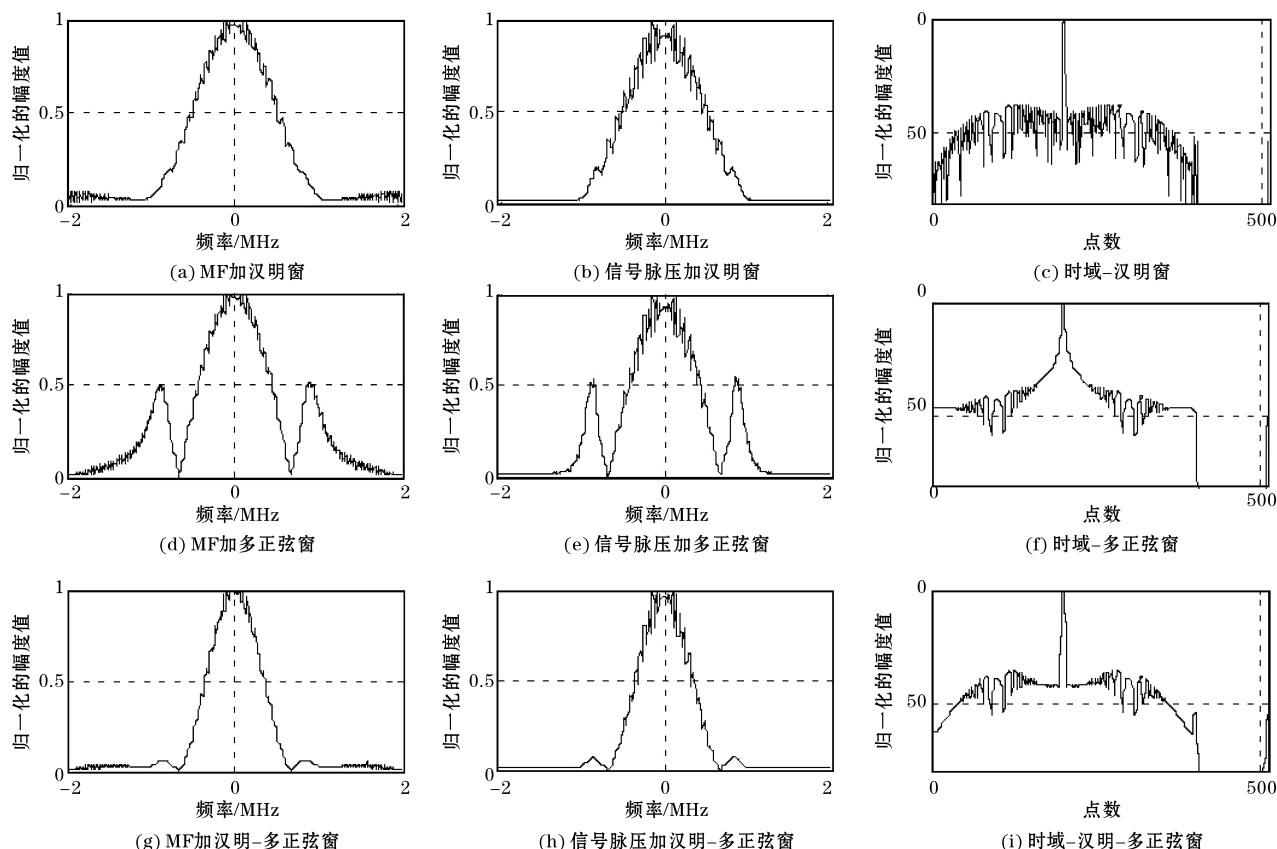


图10 脉压信号采用不同加权方式的频域和时域图($TB=100$)

仿真实验中雷达发射信号参数设为:压缩比 $TB=100$,谱宽 $B=2$ MHz,采样频率 $f=4$ MHz,多正弦窗参数半时带宽设为2,正弦窗个数为3个。信号经过脉压后加不同窗的频谱及时域信号图如图10所示。

由图10可知,匹配滤波器(MF, match filter)加汉明窗后,对频域有一定平滑作用,但整个窗口仍有较多数据起伏现象。而匹配滤波器仅加多正弦窗又会引起频谱泄漏,造成主瓣展宽很大。汉明-多正弦窗的加权方式使得LFM脉压信号频谱图中的窗口数据边缘和菲涅耳波纹得到了更好的平滑效果,波动幅度得到了更大程度的抑制,且其频谱展宽更小,更有利于能量集中。对于多正弦窗可以通过增加窗函数的个数来获得更为光滑的谱,实验证明运用3个正弦窗已经可以满足应用需求。

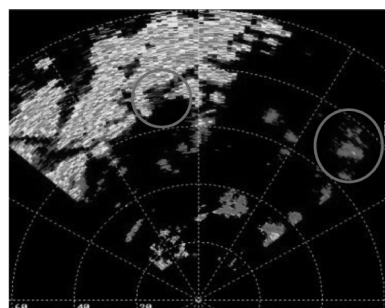
5 外场试验

为检验在全固态天气雷达脉压技术中运用MTM算法对旁瓣的抑制和噪声基底平滑的效果,进行了对晴空回波的探测试验。本试验在成都信息工程大学的X波段全固态天气雷达上进行,试验参数:发射峰值功率为50 W,发射脉冲宽度为66.6 μ s,接收机分析带宽为2 MHz,天线增益为39 dB,天线水平和垂直波束宽度均为 1.5° ,多正弦窗个数为3个。图11根据2012年7月3日9时10分仰角为 1.4° 的雷达反射率因子数据分别选择汉明窗加权和汉明-多正弦窗函数加权获取的回波图如图11所示。

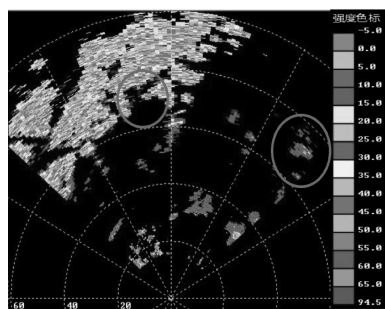
由图 11 可知,采用汉明-多正弦窗加权方式处理后的回波图中,消除了由于旁瓣和噪声基底对回波图的影响,说明此种加权方法能够消除虚假目标的影响,使强回波边缘真正的弱目标信息得以显现。

针对出现天气回波的径向进行定量分析,分别采用汉明窗函数加权和汉明-多正弦窗加权方式绘制回波图的单个径向回波功率图如图 12 所示。

通过对比可以看出,两种加权方式对旁瓣的抑制效果相近,主瓣展宽程度均不大,而汉明-多正弦加权方式的功率随距离变化曲线要明显起伏较小。对同一目标单个径向进行探测时,计算目标回波功率(dBm)最高值与噪声均值之差可得信噪比损失。经计算得出此片天气回波的采用汉明加权和汉明-多正弦窗加权的信噪比损失分别为1.45 dB、2.13 dB。



(a) 汉明加权



(b) 汉明-多正弦窗

图 11 实际雷达晴空回波对比图

综合考虑以上分析结果可以得出结论,文中所使用的汉明-多正弦窗加权方法相比于经典加权方式对脉压信号旁瓣抑制效果一致,且对功率随距离变化曲线图中的噪声基底有很好的平滑作用,使噪声基底对探测的影响效果更小。且使主瓣展宽和信噪比损失在实际应用中都处于能够接受的范围内,同时此种加权方法计算简便、易于实现,能很好的应用于实际工程中。

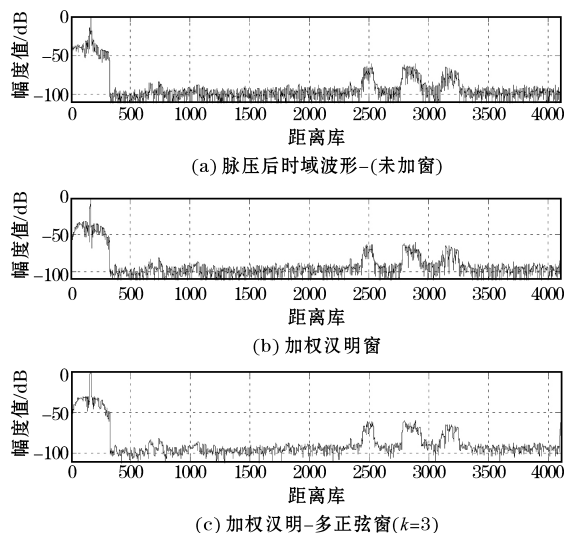


图 12 在单个径向分别采用不同的窗函数的回波信号功率

6 结束语

主要研究利用多正弦窗对其频带内频谱具有更好的平滑作用这一特性,采用汉明-多正弦窗加权方式对 LFM 脉压信号进行旁瓣抑制的一种新的方法。将此种方法与经典加权方法性能进行了对比仿真实验和外场试验,实验结果表明:汉明-多正弦窗加权方式能在有效抑制旁瓣的同时平滑功率图的噪声基底,因而对目标的探测性能更佳。

参考文献:

- [1] 杨斌,武剑辉,向敬成. 非线性调频信号时域旁瓣抑制滤波器设计[J]. 信号处理, 1999,(S1): 31-35.
- [2] 李江,张德波,易宏斌,等. 一种正切调频与混沌编码复合信号脉冲压缩及旁瓣抑制[J]. 船电技术, 2011,(7):5-7;69.
- [3] 林茂庸,柯有安. 雷达信号理论[M]. 北京:国防工业出版社, 1984:138-143.
- [4] 张璩珩,彭应宁,王秀坛,等. 滑窗式线性调频及衍生多相码旁瓣抑制滤波器[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2001,41(1):20-23.
- [5] 何建新,唐顺仙,李睿,等. 全固态天气雷达组合脉冲发射模式的研究与设计[J]. 高原气象, 2014,(6):1730-1736.
- [6] 唐顺仙,何建新,史朝. 脉冲压缩技术在全固态天气雷达中的实现[J]. 电子技术应用, 2014,(2):122-124.
- [7] 史朝,范凯波,李学华,等. X波段全固态天气雷

- 达降水探测能力的研究[J]. 大气科学学报, 2013, (3):379-384.
- [8] 吴海军, 陆建兵, 李兆明, 等. 基于脉冲压缩技术的全固态天气雷达[J]. 现代雷达, 2014, (7):5-9.
- [9] 吴海军, 陆建兵. 全固态双线偏振多普勒天气雷达系统设计[J]. 信息化研究, 2014, (4):20-25.
- [10] O'Hara F, Bech J. Operational Use of Pulse Compression in Weather Radar[C]. Albuquerque, NM, USA:11th Conference on Mesoscale Processes and the 32nd Conference on Radar Meteorology, 2005.
- [11] Bharadwaj N, Chandrasekar V. Wideband Waveform Design Principles for Solid-State Weather Radars[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2012, 29:14-31.
- [12] 唐顺仙. 固态发射体制天气雷达部分性能优化的研究[D]. 成都:成都信息工程学院, 2013.
- [13] 吴红卫, 吴镇汤, 赵鹤鸣, 等. 多正弦窗谱估计的性能分析[J]. 信号处理, 2007, 23(6):932-936.
- [14] 张峰, 石现峰. 多正弦窗谱估计应用于振动信号频谱分析[J]. 西安工业大学学报, 2010, 30(4):337-391.
- [15] 李晓伟, 曾毓敏, 汤小飞. 基于多正弦窗谱估计的改进谱减法语音增强[J]. 信息化研究, 2009, 35(12):18-21.
- [16] 彭军, 王忠, 刘兴涛, 等. 基于多窗谱相关加权语音增强[J]. 计算机仿真, 2011, 28(3):142-145.

Application of MTM Algorithm in all Solid-state Weather Radar with LFM Signal Transmission

LI Rui^{1,2,3}, TANG Shun-xian^{1,2,4}, HE Jian-xin^{1,2}

(1. College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. The key Laboratory for Atmospheric Sounding CMA, Chengdu 610225, China; 3. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 4. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: All solid-state weather radar has high reliability and maintainability. However, the low peak power of solid-state transmitter degrades the detection distance and range resolution. A Linear Frequency Modulated (LFM) signal is commonly used in pulse compression radar system because it is not affected by Doppler shift during compression of the radar echoes in the matched filter. Nevertheless, the main drawbacks of pulse compression is high range sidelobes. The most common way of suppressing sidelobes is to use weighting functions. The Fresnel wave is subsistent on the frequency spectrum of compressed signal, it makes the power diagram of output signal serious fluctuation and serious impact the detection performance of weather radar. This paper presents a new weighting network which is based on the multitaper method (MTM) and the characteristics of multiple sinusoidal window and Hamming window. This method will be introduced in detail and has been implemented in the compressed LFM signal. The computer simulation experiments show that: multiple sinusoidal weighted network can effective reduce the side lobe, control the main lobe width and smooth noise base in the used of compressed LFM signal. In addition, it can meet the application requirements in the field experiments.

Key words: atmospheric sounding; signal processing for weather radar; LFM signal; multitaper method; sidelobe suppression