

空域滤波器组对雷达阵列合成距离像的影响分析

魏麟¹, 彭卫^{2, 3, *}, 彭卫东¹, 陈睿松²

1. 中国民航飞行学院 航空工程学院, 四川 广汉 618307
2. 电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 610054
3. 四川农业大学 商学院, 四川 成都 611830

摘要: 为了简化雷达系统硬件设计和降低成本,可以使用多个窄带成分来合成宽带信号,从而获得满足实际需要的合成距离像。针对合成宽带信号和雷达阵列的特点,详细分析了结合合成宽带信号及传统空域滤波器组情况下所合成距离像的失真原因,指出合成距离像的失真由形状变形和位置平移两部分组成,且这两种失真分别由各个空域滤波器输出幅度和相位的波动所引起。同时,推导出计算对应相位和幅度失真度的理论公式,并由此给出了当合成距离像存在可接受失真时阵列的临界条件。计算机数值仿真结果验证了以上结论。

关键词: 雷达成像; 阵列; 合成距离像; 子带; 空域滤波器组

中图分类号: V243.2; TN958.92 **文献标识码:** A

高分辨率距离像反映了目标径向散射点密度的分布特性,在目标成像及识别方面获得了广泛的应用^[1]。距离维的高分辨率意味着发射和接收信号的大带宽,由于大带宽信号面临着硬件处理和计算复杂度方面的问题,因而其实际具体应用是一个富有挑战性的课题^[2]。

一种获得高分辨率距离像的简单方法是合成宽带波形^[3],其基本原理是发射和接收一系列不同中心频率的窄带脉冲信号,通过对回波脉冲进行相干合成,得到目标的高分辨率距离像^[4],例如,步进频率信号就是最典型的一种合成宽带波形^[5-6]。文献[7]研究了非均匀步进频率波形的成像特性,文献[8]和文献[9]分别分析了合成宽带信号的旁瓣特性和使用相位编码信号作为子带发射信号时的合成距离像性能。

为了提高信噪比和进行灵活的角度扫描,现

代雷达越来越趋向于采用阵列体制,当阵列雷达使用瞬时宽带脉冲波形时,传统的窄带波束形成方法会导致雷达的天线波束扫描角失准及波束变形^[10]。针对这个问题,可考虑将合成宽带波形与阵列技术结合,使之既可以利用窄带的波束形成技术,又可以高质量地对目标进行成像处理。

窄带信号利于波束成形,而宽带信号更注重目标的成像。当在阵列中使用合成宽带波形时,传统空域滤波器的性质肯定会对合成距离像的性能产生影响。文献[11]和文献[12]研究了如何利用空域宽带滤波器组进行宽带波达方向(Direction-of-Arrival, DOA)估计和降噪处理。文献[13]中提出了一种先利用快速傅里叶变换(FFT)形成频率柜,再利用频率柜做宽带波束形成的方法,在保证脉压效果的同时节省了计算量。文献

收稿日期: 2012-03-07; 退修日期: 2012-04-05; 录用日期: 2012-07-03
基金项目: 国家自然科学基金(60702070); 民航科技基金(MHRD201022)
* 通讯作者. Tel.: 028-87127471 E-mail: pw7@163.com

引用格式: Wei L, Peng W, Peng W D, et al. Impact analysis of synthetic range profile on radar array using spatial filter bank. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2012, 33(8): 1508-1514. 魏麟, 彭卫, 彭卫东, 等. 空域滤波器组对雷达阵列合成距离像的影响分析. *航空学报*, 2012, 33(8): 1508-1514.

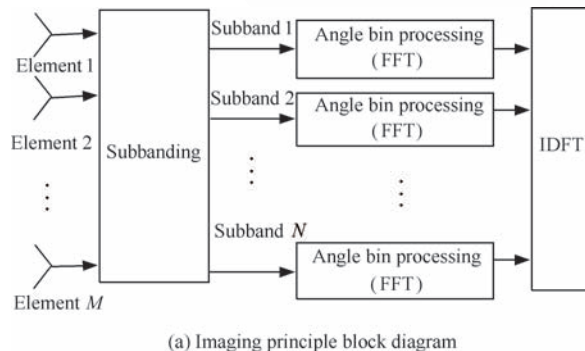
[14]中详细分析了基于FFT算法的时域滤波器组对合成距离像性能的影响。

由于空域处理所涉及的是角度-阵列孔径之间的关系,要使用雷达阵列来获得符合要求的合成距离像,就必须对空域滤波器特性与合成距离像之间的关系进行理论及实验分析。本文详细地研究了阵列空域滤波器组与所合成的距离像性能之间的关系。

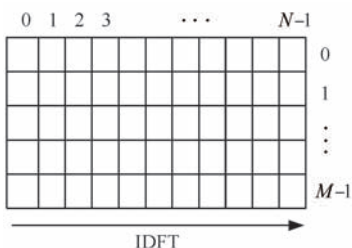
1 合成宽带阵列雷达框图

图1(a)是合成宽带阵列雷达成像处理原理框图:首先,目标在各个子带内的回波先通过子带划分,分离出各个子带信号;然后,在每一个子带内使用空域滤波器组分离出不同来波角度的目标;最后,使用离散逆傅里叶变换(IDFT),对各个子带空域滤波器组的输出进行合成宽带处理,从而得到不同来波角度的目标合成距离像。

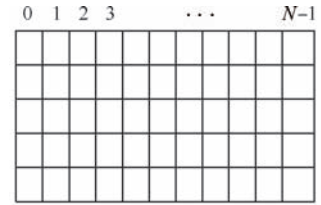
图1(b)为阵列阵元数为 M 时,目标回波通过 N 个子带的空域滤波器组后所形成的子带-角度输出矩阵。图中矩阵的行是滤波器组输出,列是子带序号。空域滤波器组由FFT实现,通过对子带-角度输出矩阵的所有列矢量做IDFT后再做全局峰值检测,可得到图1(c)所表示的最佳合成距离像。



(a) Imaging principle block diagram



(b) Angle bin subband array



(c) Angle bin range resolution cell array

图1 合成宽带阵列雷达成像处理原理

Fig. 1 Imaging processing principle of synthetic wide-band radar array

2 空域滤波器组输出对合成距离像失真的影响

2.1 滤波器输出信号模型

本文研究的是常规空域滤波器组(即多波束),各个子带具有相同的滤波器组结构,考虑到算法实现的简洁性和高效性,这里使用FFT来具体实现多波束(即空域滤波器组)。为简化分析,认为子带目标回波由这个子带中心频率上目标频域响应的采样值与空域快拍矢量组成。

设合成宽带雷达系统的子带数为 N ,第 n 个子带的中心频率 $f_n = f_0 + n\Delta f (n = 0, 1, \dots, N-1)$, f_0 为编号为0的子带的中心频率,各个子带中心频率间隔均匀,大小为 Δf ,子带的带宽 $\Delta B = \Delta f$,系统总带宽 $B = N\Delta f$ 。设阵列为均匀线阵,阵元数和间距分别为 M 和 d 。

来波角为 θ_t 的目标在第 n 个子带内的空域频率为 $f_{ns} = \frac{d \sin \theta_t}{\lambda_n} = \frac{df_0 \sin \theta_t}{c} + \frac{nd \Delta f \sin \theta_t}{c} = f_{0s} + n\Delta f_s$,其中: c 为电磁波传播速度; f_{0s} 为目标在编号为0的子带内产生的空域频率; $\Delta f_s = \frac{d \Delta f \sin \theta_t}{c}$ 为由于相邻子带中心频率差而产生的附加空域频率,本文中称之为空域频率散布项; λ_n 为第 n 个子带的波长。由此,目标的空域快拍矢量可表示为

$$\mathbf{V}_{tn} = a_{tn} \mathbf{S}_{tn} = a_{tn} [1 \quad \exp(j2\pi f_{ns}) \quad \exp(j2\pi f_{ns} \times 2) \quad \dots \quad \exp(j2\pi f_{ns} \times (M-1))]^T \quad (1)$$

式中: a_{tn} 和 \mathbf{S}_{tn} 分别为第 n 个子带中心频率上目标频率域响应的采样值和空间采样矢量。

第 n 个子带内的第 k 个空域滤波器(使用
© 航空学报编辑部 <http://hkxb.buaa.edu.cn>

FFT 实现)可表示为

$$\mathbf{w}_{nk} = [1 \quad \exp(j2\pi k/M) \quad \cdots \quad \exp(j2\pi k(M-1)/M)]^T \quad (2)$$

则其输出为

$$y_{nk} = \mathbf{w}_{nk}^H \mathbf{V}_{tn} = a_{tn} \mathbf{w}_{nk}^H \mathbf{S}_{tn} = a_{tn} \sum_{m=0}^{M-1} \exp[j2\pi(f_{ns} - k/M)m] = a_{tn} \phi_{nk}(f_{ns}) \quad (3)$$

式中: $[\cdot]^H$ 表示共轭转置; $\phi_{nk}(f_{ns})$ 的表达式为

$$\phi_{nk}(f_{ns}) = \mathbf{w}_{nk}^H \mathbf{S}_{tn} = \exp[j\pi(f_{ns} - k/M) \cdot (M-1)] \frac{\sin[\pi(f_{ns} - k/M)M]}{\sin[\pi(f_{ns} - k/M)]} \quad (4)$$

将 $f_{ns} = f_{0s} + n\Delta f_s$ 代入式(4),有

$$\phi_{nk}(f_{ns}) = \exp[j\pi(f_{0s} + n\Delta f_s - k/M)(M-1)] \cdot \frac{\sin[\pi(f_{0s} + n\Delta f_s - k/M)M]}{\sin[\pi(f_{0s} + n\Delta f_s - k/M)]} = \theta_{nk}(f_{ns}) A_{nk}(f_{ns}) \quad (5)$$

式中: $A_{nk}(f_{ns})$ 和 $\theta_{nk}(f_{ns})$ 分别为空域滤波器输出中的幅度项和相位项。显然,要分析合成距离像的失真特性,就必须分析幅度和相位在 N 个子带中的波动情况。

2.2 幅度和相位波动对合成距离像失真的影响

由前面的分析可看出,式(3)中的输出由两项组成,第1项是第 n 个子带中心频率上目标频率域响应的采样值 a_{tn} ,其完全取决于目标的后向散射特性,与空域滤波器无关;第2项是 $\phi_{nk}(f_{ns})$,其由目标来波角与空域滤波器特性共同决定。

目标原始距离像(无失真距离像)可通过对 N 个子带目标频率域响应的采样值做 IDFT 而获得,即 $\mathbf{h}_0 = \mathbf{D}^{-1} \mathbf{T}_0$,其中 \mathbf{h}_0 为目标原始距离像, \mathbf{D}^{-1} 为 IDFT 矩阵, $\mathbf{T}_0 = [a_{t0} \quad a_{t1} \quad \cdots \quad a_{t(N-1)}]^T$ 。由前述分析可知,基于阵列的合成距离像是通过对 N 个子带的同一个空域滤波器输出做 IDFT 而获得的,即第 k 个滤波器所形成的距离像 $\mathbf{h}_k = \mathbf{D}^{-1} \mathbf{T}_{kt}$,其中

$$\mathbf{T}_{kt} = [a_{t0} \phi_{0k}(f_{ns}) \quad a_{t1} \phi_{1k}(f_{ns}) \quad \cdots \quad a_{t(N-1)} \phi_{(N-1)k}(f_{ns})]^T = [a_{t0} A_{0k} \theta_{0k} \quad a_{t1} A_{1k} \theta_{1k} \quad \cdots \quad a_{t(N-1)} A_{(N-1)k} \theta_{(N-1)k}]^T = \mathbf{M}_k \odot \mathbf{T}_0 \quad (6)$$

式中: \odot 表示哈达玛积(Hadamard Product);

$$\mathbf{M}_k = [A_{0k} \theta_{0k} \quad A_{1k} \theta_{1k} \quad \cdots \quad A_{(N-1)k} \theta_{(N-1)k}]^T。$$

这里可将 \mathbf{T}_{kt} 看成是目标频率域响应的采样值矢量 \mathbf{T}_0 被 \mathbf{M}_k 调制而产生的结果。显然,要分析 \mathbf{h}_k 的失真,就必须先分析 \mathbf{M}_k 的性质。由于 \mathbf{M}_k 是由幅度项和相位项组成的,下面分别就幅度和相位的波动对合成距离像的影响展开讨论。

2.2.1 幅度波动

按照式(5), \mathbf{M}_k 中的幅度项可表示为

$$A_{nk}(f_{ns}) = A_k(f_{0s} + n\Delta f_s) = \frac{\sin[\pi(f_{0s} + n\Delta f_s - k/M)M]}{\sin[\pi(f_{0s} + n\Delta f_s - k/M)]} \quad (7)$$

式(7)中 $n\Delta f_s$ 在 N 个子带中的不同导致了幅度项 $A_{nk}(f_{ns})$ 在 N 个子带中的不一致(即波动),表现为相邻子带滤波器输入值在频域上有 Δf_s 的偏移。对成像处理来说,相当于在 N 个目标频率域响应采样值上乘以 N 个不同的幅度权,这将造成距离像的形状发散和信噪比降低^[15]。

由于 $A_{nk}(f_{ns})$ 的主瓣半功率点宽度近似为 $1/M$,且通常认为当 $A_{nk}(f_{ns})$ 在 N 个子带中的波动小于 3 dB 时,合成距离像的失真在可以接受的范围内^[16],则可以推导出幅度项失真的临界条件为

$$N\Delta f_s \leq \frac{1}{M} \quad (8)$$

由于目标的来波角是随机的,而上述条件只是必要条件,要获得充要条件,必须设置一个更小的范围来保证来波角的随机性,不至于使得幅度波动超过 3 dB,这个范围是

$$N\Delta f_s \leq \frac{1}{2M} \quad (9)$$

代入 $\Delta f_s = \frac{d\Delta f \sin \theta_t}{c}$,有

$$M < \left\lfloor \frac{c}{2N\Delta f d \sin \theta_t} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{c}{2Bd \sin \theta_t} \right\rfloor \quad (10)$$

式中: $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整。向下取整是因为 M 必须是整数。通常,为了避免角度模糊,阵元间距可取 $d = \lambda_{N-1}/2 = c/(2f_{N-1})$,则有

$$M < \lfloor f_{N-1}/(B \sin \theta_t) \rfloor \quad (11)$$

再设阵列扫描范围为 $\theta_t = -\pi/2 \sim \pi/2$,则式(11)的临界条件可进一步扩展为

$$M < \lfloor f_{N-1}/B \rfloor, \theta_t = \pm \pi/2 \quad (12)$$

2.2.2 相位波动

按照式(5), \mathbf{M}_k 中的相位项可表示为

$$\theta_{nk}(f_{ns}) = \theta_{nk}(f_{0s} + n\Delta f_s) =$$

$$\pi(f_{0s} - k/M)(M-1) + n\Delta f_s(M-1) \quad (13)$$

这里,可将式(13)等价于对式(14)在 $f = n\Delta f_s$ ($n=0,1,\dots,N-1$) 进行离散采样:

$$\theta_{nk}(f) = \pi(f_{0s} - k/M)(M-1) + \pi[(M-1)f] \quad (14)$$

显然,相位波动是线性的,因而会导致距离像位置产生平移,但不会对距离像的形状产生影响,根据数字信号处理理论^[17],可推导出位置平移量为

$$L = \lfloor N(M-1)\Delta f_s/2 \rfloor = \lfloor [N(M-1)d\Delta f \sin \theta_i]/(2c) \rfloor \quad (15)$$

当目标来波角相对于阵列法线方向为正值时,距离像位置左移,反之右移。

3 仿真验证

仿真所用雷达系统参数为:子带数 $N = 100$, $\Delta B = \Delta f = 5$ MHz,合成距离分辨单元为 $\Delta R = c/(2N\Delta f) = 0.3$ m,编号为0的子带中心频率 $f_0 = 10$ GHz,阵元间隔设为子带最小波长 λ_{99} 的一半,阵列扫描范围为 $\theta_i = -\pi/2 \sim \pi/2$ 。目标由5个散射点组成,归一化强度之比为 $1:5:3:2:7$,第1个散射点与雷达间的径向距离为 $22\Delta R + 450$ km,各个散射点之间相隔 $2\Delta R$ 。

仿真内容分为3部分:①分析幅度波动对合成距离像的影响;②分析相位波动对合成距离像的影响;③分析同时存在幅度和相位波动时,合成距离像的失真。为了全面反映阵元数目对合成距离像的影响,本文中目标来波角设定为 $\theta_i = \pi/2$ (注: $\theta_i = -\pi/2$ 时不影响推导结果)。

3.1 幅度波动对合成距离像的影响

当雷达和目标特性满足上述条件时,由式(12)可计算出满足临界条件的阵元数是20。

图2(a)显示的是,阵元数为20时各个子带空域滤波器输出的幅度特性。由图可知,其幅度波动范围为 $13.6 \sim 20.0$,接近3 dB。

图2(b)表示了相应的合成距离像特性(忽略了相位项的影响),图中实线是无失真距离像(Original Range Profile, ORP),虚线是通过空域滤波器组后的合成距离像(Filtered Synthetic Range Profile, FSRP)。由图可见,距离像的位置没有移动,只是幅度出现了很小的畸变,而这样的幅度变形通常是可以接受的。

当阵元数增加到84时,各个子带空域滤波器

输出的幅度值出现了很大的波动,波动范围远远超过了3 dB,如图3(a)所示。故在图3(b)所示的合成距离像中出现了较大的形状畸变,表现为各个散射点发散。但值得注意的是,此时合成距离像的位置并没有发生平移。

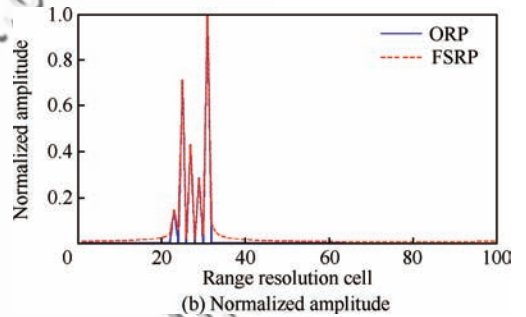
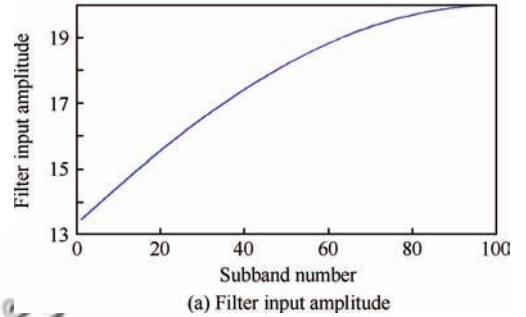


图2 幅度波动对合成距离像的影响(阵元数为20)
Fig. 2 Amplitude fluctuation effect on synthetic range profile (element number: 20)

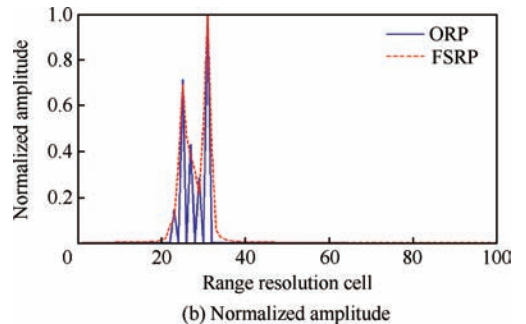
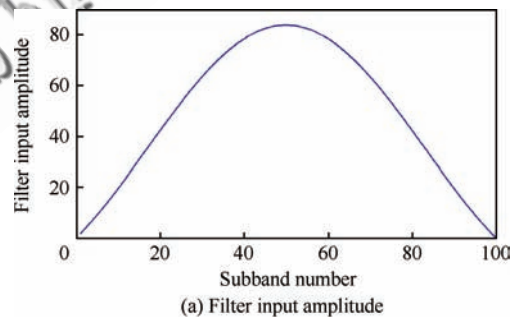


图3 幅度波动对合成距离像的影响(阵元数为84)
Fig. 3 Amplitude fluctuation effect on synthetic range profile (element number: 84)

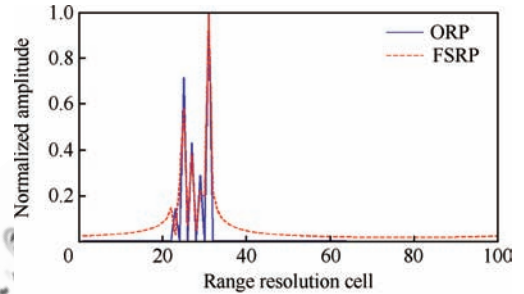
3.2 相位波动对合成距离像的影响

依据 2.2 节的分析,滤波器输出相位波动使得合成距离像循环移位,而形状不会改变。图 4(a)显示的是,阵元数为 20 时相位波动对合成距离像的影响(忽略幅度波动影响)。

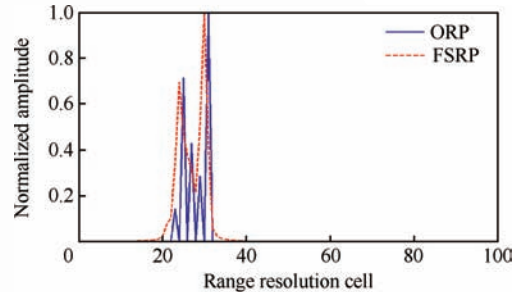
图 4(a)中合成距离像虽然出现了变形,但由于数字信号处理理论和式(15)可知,这样的变形是由于移位不是整数而引起的,可通过插值来消除所合成距离像的变形。

为了更全面地说明上面的情况,由式(15)可以计算出通过子带空域滤波器组后,合成距离像平移一个距离分辨单元的阵列阵元数为 84(取整后)。图 4(b)显示阵元数为 84 时的结果,由图可见,与无失真合成距离像相比,空域滤波后的合成距离像无失真地向左平移了一个距离分辨单元。

表明此时的失真主要由相位波动引起;当阵元数为 84 时,与图 3(b)和图 4(b)相比,图 5(b)中的合成距离像相当于将图 3(b)的距离像左移一个距离分辨单元,显然,此时的形状变形是由幅度波动超过 3 dB 而引起的,而相位波动只造成距离像的平移,这与前述的理论分析完全一致。



(a) Element number: 20



(b) Element number: 84

图 5 幅度和相位联合波动对合成距离像的影响(阵元数为 20 和 84)

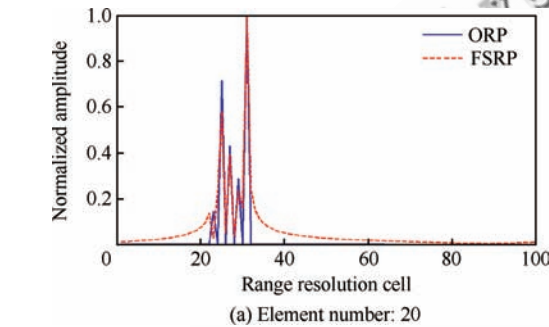
Fig. 5 Amplitude and phase joint fluctuation effect on synthetic range profile (element number: 20 and 84)

4 结论

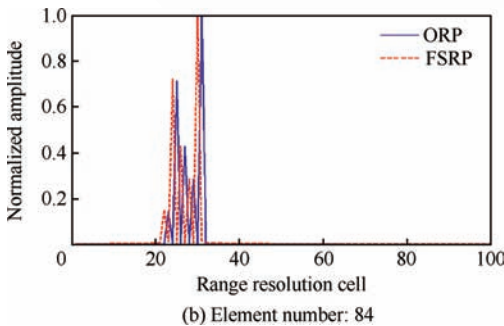
针对合成宽带信号在阵列雷达中的应用,详细分析了使用 FFT 形式作为空域滤波器组时,合成距离像的失真特性及原因,获得了以下分析结果:

1) 各个子带中心频率的不一致造成了各个子带滤波器输出值的幅相不匹配,而这样的不匹配又会对各个子带目标频率域响应的采样值进行调制,这就是合成距离像失真的本质原因。

2) 当使用常规空域滤波器组时,阵元数目的增加将会引起合成距离像的失真;合成距离像的失真包括形状变形和位置平移,其中形状变形是



(a) Element number: 20



(b) Element number: 84

图 4 相位波动对合成距离像的影响(阵元数为 20 和 84)
Fig. 4 Phase fluctuation effect on synthetic range profile (element number: 20 and 84)

3.3 幅度与相位联合波动对合成距离像的影响

图 5(a)和图 5(b)显示了阵元数分别为 20 和 84,幅度和相位联合波动时的合成距离像。如图所示,当阵元数为 20 时,与图 2(b)和图 4(a)相比,图 5(a)中合成距离像与图 4(a)基本一致,这

由于各个子带空域滤波器输出的幅度波动而引起的,位置平移是由于各个子带空域滤波器输出的相位波动而引起的。

3) 文中推导没有涉及到具体的合成宽带波形,因此推导出的公式适用于所有的合成宽带波形。

4) 为了获得满足要求的合成距离像,必须限制阵列的阵元数目。因此当合成宽带信号被应用在阵列中时,应研究新的空域滤波器组结构,这也是下一步工作的重点。

参 考 文 献

- [1] Barton D K, Leonov S A. Radar technology encyclopedia. London: Artech House, Inc., 1998.
- [2] Clark M E. High range resolution techniques for ballistic missile targets. IEE Colloquium on High Resolution Radar and Sonar, 1999: 601-613.
- [3] Chen H Y, Liu Y X, Li X. Mathematics of synthesizing range profile. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55(5): 1950-1955.
- [4] Rabideau D J. Nonlinear synthetic wideband waveforms. Proceedings of International Conference on Radar, 2002: 212-219.
- [5] Mao E K, Long T, Han Y Q. Digital signal processing of stepped frequency radar. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2001, 22(6): 16-25. (in Chinese)
毛二可, 龙腾, 韩月秋. 频率步进雷达数字信号处理. 航空学报, 2001, 22(6): 16-25.
- [6] Schimpf H, Wahlen A, Essen H. High range resolution by means of synthetic bandwidth generated by frequency-stepped chirps. Electronics Letters, 2003, 39(18): 1346-1348.
- [7] Walbridge M R, Chadwick J. Reduction of range ambiguities by using irregularly spaced frequencies in a synthetic wideband waveform. IEE Colloquium on High Resolution Radar and Sonar, 1999: 9-14.
- [8] Levanon N, Mozeson E. Nullifying ACF grating lobes in stepped-frequency train of LFM pulses. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2003, 39(2): 694-703.
- [9] Temple M A, Sitler K L, Raines R A, et al. High range resolution (HRR) improvement using synthetic HRR processing and stepped-frequency polyphase coding. IEE Proceedings-Radar, Sonar, Navigation, 2004, 151(1): 41-47.
- [10] He Z S, Jin L, Han Y J. Development and implementation techniques of optically a controlled phased array radar. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(12): 2191-2195. (in Chinese)
何子述, 金林, 韩蕴洁. 光控相控阵雷达发展动态和实现中的关键技术. 电子学报, 2005, 33(12): 2191-2195.
- [11] Yan S F, Hou C H, Ma X C. Matrix spatial prefiltering approach for direction-of-arrival estimation. Acta Acustica, 2007, 32(2): 151-157. (in Chinese)
鄢社锋, 侯朝焕, 马晓川. 矩阵空域预滤波目标方位估计. 声学学报, 2007, 32(2): 151-157.
- [12] Yan S F, Hou C H. Broadband DOA estimation using optimal array pattern synthesis technique. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2006, 5(1): 88-90.
- [13] Li N, Tan J, Peng Y N. Frequency broadband beamforming algorithm. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2008, 48(7): 1127-1130. (in Chinese)
李宁, 汤俊, 彭应宁. 频域宽带波束形成算法. 清华大学学报: 自然科学版, 2008, 48(7): 1127-1130.
- [14] Peng W, Wang X G, Zhao J H, et al. Analysis of synthetic wideband range profile based on conventional Doppler filter banks. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2009, 30(6): 1096-1102. (in Chinese)
彭卫, 汪学刚, 赵建宏, 等. 基于常规多普勒滤波器组结构的合成宽带距离像性能分析. 航空学报, 2009, 30(6): 1096-1102.
- [15] Berizzi F, Martorella M, Cacciamano A, et al. A contrast-based algorithm for synthetic range-profile motion compensation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 46(10): 3053-3062.
- [16] Long T, Mao E K, He P K. Analysis and processing of modulated frequency stepped radar signal. Acta Electronica Sinica, 1998, 26(12): 84-88. (in Chinese)
龙腾, 毛二可, 何佩琨. 调频步进雷达信号分析与处理. 电子学报, 1998, 26(12): 84-88.
- [17] Oppenheim A V, Schaffer R W, Buck J R. Discrete-time signal processing. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, Inc., 2005.

作者简介:

魏麟 男, 硕士, 副教授, 硕士生导师。主要研究方向: 航空电子, 数字信号处理。

Tel: 0838-5183726

E-mail: weilin@cafuc.edu.cn

彭卫 男, 博士后, 讲师。主要研究方向: 雷达成像, 数字信号处理, 数字图像处理, 无源定位。

Tel: 028-87127471

E-mail: pw7@163.com

Impact Analysis of Synthetic Range Profile on Radar Array Using Spatial Filter Bank

WEI Lin¹, PENG Wei^{2,3,*}, PENG Weidong¹, CHEN Kesong²

1. Aviation Engineering Institute, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China

2. School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China

3. School of Business, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611830, China

Abstract: In order to reduce the complexity of radar system's hardware design and keep costs down, a wideband signal can be synthesized by combining several individual narrow band components and then a synthetic range profile meeting the actual needs can be acquired. Combining with the characteristics of the synthetic wideband signal and radar array respectively, this paper analyzes the reason for the distortion of a synthetic range profile formed with combination of the synthetic wideband waveform and traditional spatial filter bank in detail, and points out that the distortion consists of two parts including range shift and shape deform, which are caused by the amplitude and phase fluctuation among each subband's spatial filter output, respectively. Meanwhile some corresponding theoretical formulas are put out and thus the array's critical conditions of element number obtaining acceptable distortion of synthetic range profile also are deduced. The above conclusions are testified by some numerical simulation tests.

Key words: radar imaging; array; synthetic range profile; subband; spatial filter bank

Received: 2012-03-07; **Revised:** 2012-04-05; **Accepted:** 2012-07-03

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (60702070); Science Foundation of CAAC (MHRD201022)

* **Corresponding author.** Tel.: 028-87127471 E-mail: pw7@163.com