## 基于Radon-STAP的机载雷达 杂波抑制与高速目标相参积累 联合处理方法



肖子皓,邓江云,孙智,崔国龙 电子科技大学,四川成都 611731

摘要:由于平台自身的运动,机载雷达探测时会受到空时耦合杂波的影响,导致目标检测困难。空时自适应处理(STAP)可以有效抑制空时耦合杂波,然而对于高速目标,回波信号的距离走动会导致空时导向矢量失配,进而导致传统STAP算法杂波抑制性能下降。针对强杂波环境下的机载雷达高速目标检测问题,本文提出了一种基于拉东-空时自适应处理(Radon-STAP)的杂波抑制与高速目标相参积累联合处理方法。首先,建立了存在距离走动的高速目标回波空时模型,并考虑了杂波的影响;随后,通过变换回波信号至频域,将目标距离走动转换为相位变化,并设计相应的走动-多普勒联合补偿函数,将改进的空时滤波器应用于非平稳杂波抑制和目标相参积累检测;最后,通过仿真试验验证了该方法的有效性。本算法在目标速度较快、存在距离走动的情况下仍然能够实现对微弱目标信号的杂波抑制与有效积累。

关键词: 机载雷达;杂波抑制;高速目标;相参积累; Radon-STAP

中图分类号:TN957.51 文献标识码:A

机载雷达在空中探测、远程预警等场景中发挥着至关重要的作用[1-3]。由于载机平台自身具有一定高度和速度,机载雷达波束照射的杂波区域扩大[4],同时,位于地面或海面的不同杂波散射点相对于机载雷达的方位、速度都有很大差异,造成杂波多普勒谱的中心频率偏移和频谱展宽[5],此时,若目标多普勒频率落在杂波多普勒频率范围内,将给机载雷达有效检测带来困难[6]。传统的杂波抑制方法仅在时频域进行处理,难以有效解决上述问题,导致对强杂波中的弱目标检测困难[7]。空时自适应处理(STAP)技术利用机载雷达杂波的空时耦合特性,通过空域和时域二维自适应滤波的方式,可以实现强杂波的有效抑制[8-10]。具体来说,STAP利用多个通道提供的空域信息和相干脉冲串提供的时域信息,在空时二维平面创造斜向的凹口抑制杂波同时保持目标信号的完整性,将杂波和目标分离,可以显著提高机载雷达对被杂波遮盖目标的检测性能。

近年来,国内外高速目标研究发展迅速[11-12]。同时,高

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2025.03.005

速目标给检测带来困难和挑战。高速目标回波信号中可能存在距离走动,从而导致阵列信号处理中空时导向矢量失配的问题,使STAP的杂波抑制性能下降。目标信号相参积累可以有效提高目标回波信号信杂噪比[13-14]。传统相参积累主要通过参数搜索或非参数搜索的方式进行包络校正与相位补偿,进而提升回波信号的信杂噪比。

目前,典型的参数搜索相参积累方法包括 Keystone 变换(KT)<sup>[15-16]</sup>和 Radon 傅里叶变换(RFT)<sup>[17-19]</sup>等。KT 算法利用插值处理,计算量较大,同时在校正一阶距离走动时存在一定的插值误差损失。基于非参数搜索的相参积累方法通过相关操作无须搜索过程以减小计算量,但是对回波信号的信杂噪比要求更高<sup>[20]</sup>。

然而,上述相参积累方法更侧重于实现目标积累检测, 未能联合杂波抑制处理。对此,2018年许稼等[21]基于最大 信杂噪比准则和RFT算法,提出了可以同时实现杂波抑制 与目标信号积累的自适应Radon傅里叶变换(ARFT),实现

收稿日期: 2024-07-11; 退修日期: 2024-10-22; 录用日期: 2024-12-11

基金项目: 国家自然科学基金(62101099);中国博士后科学基金(2021M690558,2022T150100);航空科学基金(2022Z017080001)

引用格式: Xiao Zihao, Deng Jiangyun, Sun Zhi, et al. Joint processing of airborne radar clutter suppression and high-speed target coherent integration based on Radon-STAP[J]. Aeronautical Science & Technology, 2025, 36(03):40-47. 肖子皓,邓江云,孙智,等.基于Radon-STAP的机载雷达杂波抑制与高速目标相参积累联合处理方法[J]. 航空科学技术, 2025, 36(03):40-47.

了杂波背景下的"低可观测"目标的有效检测。然而,该方法只利用了单通道的回波信息,未考虑机载多通道雷达回波的融合。此外,该方法对相参脉冲样本进行子孔径划分,对于非平稳杂波的抑制能力受限。2022年李浩冬等[22]提出了强杂波背景下时分STAP目标重聚焦算法,实现了鲁棒杂波抑制以及基于半搜索机制的目标能量积累。但是该方法需要目标空间频率和多普勒频率的先验信息或估计值,同时目标可能在划分后的滑窗内仍出现距离走动,导致算法性能下降。总的来说,目前国内外现有的方法都需要分步处理来实现机载雷达体制下高速目标杂波抑制与目标检测,在分步处理时会产生增益损失导致性能下降。因此,需要研究信号相参积累与STAP技术相结合的方法,以提升强杂波下机载雷达对高速目标的检测性能。

为实现上述目的,本文提出一种联合杂波抑制与目标相参积累的Radon-STAP方法。该方法基于目标距离走动模型,设计相应的走动-多普勒联合补偿函数,在不同距离单元的杂波相关性较差的情况下也能实现良好的杂波抑制与积累检测。最后,通过仿真试验验证了算法的有效性。

### 1 高速目标回波空时模型

假设机载雷达的天线为N阵元等距线阵,阵元间距为d。以载机飞行所在的平面为xoy平面建立空间坐标系,高速目标相对雷达的俯仰角与方位角分别为 $\theta$ 和 $\varphi$ 。机载阵列雷达几何构型如图1所示。

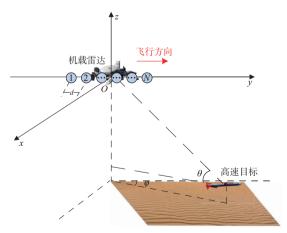


图1 机载阵列雷达几何构型

Fig.1 Geometric configuration of airborne array radar

由图1可知,在不存在干扰信号的情况下,机载雷达回 波信号空时导向矢量可以写为

$$X = aS + X_c + n \tag{1}$$

式中, $X_c$ 和n分别表示杂波和噪声的空时导向矢量,a为目标信号复幅度,S为目标信号的空时导向矢量,其表达式为

$$\mathbf{S} = \mathbf{S}_{t}(\bar{f}_{d}) \otimes \mathbf{S}_{s}(\bar{f}_{s}) \tag{2}$$

式中, $\otimes$ 表示克罗内克积, $S_{t}(\bar{f}_{d})$ 和 $S_{s}(\bar{f}_{s})$ 分别表示目标的时域导向矢量和空域导向矢量,其表达式为

$$\mathbf{S}_{t}(\bar{f}_{d}) = \left[1, e^{j2\pi\bar{f}_{d}T_{r}}, \dots, e^{j2\pi\bar{f}_{d}T_{r}(N-1)}\right]^{T}$$

$$\tag{3}$$

$$\mathbf{S}_{s}(\overline{f}_{s}) = \left[1, e^{j2\pi\overline{f}_{s}}, \cdots, e^{j2\pi\overline{f}_{s}(M-1)}\right]^{T}$$

$$\tag{4}$$

式中, $f_d$ =2 $\nu_t$ / $\lambda$ 表示目标相对于雷达的径向多普勒频移; $f_s$ = $d\cos\theta\cos\phi$ / $\lambda$ 表示目标的空间频率; $\nu_t$ 表示目标相对于雷达的径向速度; $T_r$ 为脉冲重复周期; $\lambda$ 为发射信号波长;M和N分别为阵元个数与脉冲个数。式(1)体现了一个距离单元内回波信号的空时导向矢量模型。当由于目标速度较快,在慢时间维上产生跨距离单元走动时,目标回波信号可以写为

$$S_{PC}(t, m, n) = A_{t} \operatorname{sinc} \left[ \pi B(t - \frac{2R_{0} + 2nT_{r}v_{t}}{c}) \right] \times e^{j2\pi n \frac{2v_{t}}{\lambda}T_{r}} e^{j2\pi m \frac{d\cos\theta\cos\varphi}{\lambda}}$$
(5)

式中,t为快时间变量,m和n分别为第m个阵元和第n个脉冲,B为信号带宽, $R_0$ 为目标初始距离,c为光速, $A_1$ 为信号包络幅度。

由于在快时间维上存在距离走动,因此直接使用空时自适应处理矩阵对回波三维数据进行处理无法有效将目标能量进行积累。为解决这一问题,ARFT算法通过轨迹搜索的方式抽取回波信号的时域导向矢量并利用自适应滤波器实现杂波抑制与目标回波能量积累<sup>[19]</sup>。然而,当不同距离单元之间的杂波相关性较差时,上述方法难以获得足够数量的独立同分布(IID)条件的训练样本,杂波抑制性能便会减弱。

因此,针对高速目标带来的距离走动和空时导向矢量 失配,以及杂波非平稳带来的杂波抑制性能减弱,本文提出 Radon-STAP算法用以解决上述问题。

#### 2 Radon-STAP方法

$$F_{\text{PC}}(f, m, n) = \text{rect}\left[\frac{f}{B}\right] e^{-j\frac{4\pi f}{c}(R_0 + nT, \nu_1)} \times e^{j4\pi n\frac{\nu_1 T_r}{\lambda}} e^{j2\pi m\frac{d\cos\theta\cos\varphi}{\lambda}}$$
(6)

将含有n的相位项进行合并,式(6)可以重写为

$$F_{\text{PC}}(f, m, n) = \text{rect}\left[\frac{f}{B}\right] e^{-j\frac{4\pi f}{c}R_0} e^{j4\pi n\left(\frac{T_s V_t}{\lambda} - \frac{fT_s V_t}{c}\right)} \times e^{j2\pi m\frac{d\cos\theta\cos\varphi}{\lambda}}$$
(7)

式(7)将目标回波信号在距离维上不同的包络偏移转换为了频域上的不同的相位变化率,而后者可以通过STAP中的权矢量进行补偿,并且不会影响到杂波空时导向矢量性质。具体步骤流程如下:

首先确定待检测单元,与传统的 STAP 不同的是,基于 Radon-STAP 的待检测单元需要同时抽取 K 个相邻的距离单元作为待检测单元(见图2)。

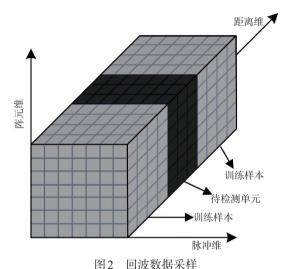


图2 图似数循木件

Fig.2 Echo data sampling

随后将参考单元的数据作为训练样本估计杂波协方差 矩阵。假设有L个训练样本,协方差矩阵计算方式为

$$\hat{\mathbf{R}} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^{L} \mathbf{X}_l \mathbf{X}_l^{\mathrm{H}} \tag{8}$$

式中, $X_t$ 为训练样本的空时导向矢量。将待检测单元信号变换到频域当中,如式(7)所示,则对于每一个频率单元f,当搜索速度为 $v_t$ ,搜索空间频率为 $\cos\theta\cos\varphi$ 时,目标的空时权矢量可以写为

$$h(f) = h_{t}(f) \otimes h_{s}(f) \tag{9}$$

其中

$$\boldsymbol{h}_{t}(f) = \left[1, e^{-j4\pi(\frac{T_{t}v_{t}}{\lambda} - \frac{fT_{t}v_{t}}{c})}, \cdots, e^{-j4\pi(N-1)(\frac{T_{t}v_{t}}{\lambda} - \frac{fT_{t}v_{t}}{c})}\right]^{T}$$
(10)

$$\boldsymbol{h}_{s}(f) = \left[1, e^{-j2\pi \frac{d\cos\theta\cos\varphi}{\lambda}}, \dots, e^{-j2\pi \frac{d\cos\theta\cos\varphi}{\lambda}(M-1)}\right]^{T}$$
(11)

STAP空时滤波器权值的最优解可以表示为

$$\mathbf{W}(f) = \mu \hat{\mathbf{R}}^{-1} \mathbf{h}(f) \tag{12}$$

式中, μ为归一化复常量。

待检测单元信号变换到频域之后的离散化表达式为

$$SF_{r}(f) = F_{PC}(f) + X_{c}(f) + n \tag{13}$$

将待检测单元信号进行空时自适应滤波,可得

$$\mathbf{S}F_{r}(f) = \mathbf{W}(f)^{\mathsf{T}}\mathbf{S}F_{r}(f) \tag{14}$$

对滤波之后信号做逆傅里叶变换,可以得到经过杂波抑制之后,当径向速度与空间频率分别为 $v_{t}$ 和 $d\cos\theta\cos\varphi/\lambda$ 时的回波信号距离维积累结果为

$$S_r(t) = IFT(SF_r(f)) \tag{15}$$

#### 3 仿真试验分析

#### 3.1 单目标处理结果

对本文所提方法进行仿真试验分析,首先对单目标情况进行仿真,雷达平台系统仿真参数见表1。

表 1 系统仿真参数 Table 1 System simulation parameters

参数名称	参数值
载频/GHz	2
波长/m	0.15
相参脉冲数/个	40
阵元数/个	8
阵元间距/m	0.075
脉冲重复频率/Hz	2000
信号带宽/MHz	15
脉宽/µs	15
平台速度/(m/s)	30
平台高度/m	8000

在单目标情况下,假设目标的径向移动速度为1200m/s,初始距离单元为2000,目标所在的方位角度为60°。在高信杂噪比(输入SCNR=23.35dB)情况下,单个阵元接收到的仿真回波信号如图3所示。

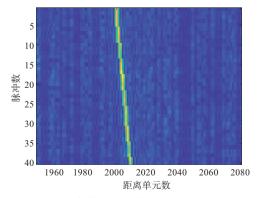


图 3 高信杂噪比情况下回波数据 Fig. 3 Echo data in high SCNR

在高信杂噪比情况下,可以明显看到目标轨迹,并且可以看出目标已经产生了距离走动。对回波数据沿慢时间维做FT处理,得到回波数据多普勒谱,如图4所示,可以看出由于平台的运动,导致接收回波中的杂波多普勒谱出现了扩展。

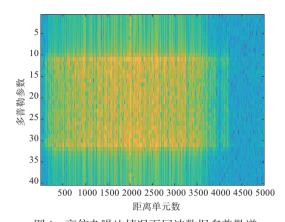


图4 高信杂噪比情况下回波数据多普勒谱 Fig.4 Doppler spectrum of echo data in high SCNR

分别使用传统 STAP 算法、RFT 算法和本文所提出的 Radon-STAP 算法对回波数据进行处理,得到处理后距离一速度维上的信号分别如图 5~图 7 所示。

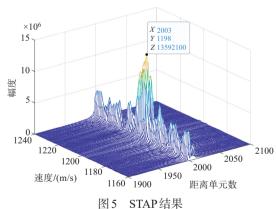


Fig.5 STAP result

STAP结果输出信杂噪比为37.81dB,由于目标产生了距离走动,传统STAP算法处理后目标能量在距离一速度平面出现了扩展,导致峰值处的能量降低;RFT结果输出信杂噪比为44.53dB,高信杂噪比情况下,仍能够得到目标能量积累峰值,但是杂波基底未能得到有效抑制;Radon-STAP结果输出信杂噪比为50.73dB,杂波得到有效抑制;目标实现良好的相参积累,在目标所在的距离一速度单元,得到较高的输出峰值。与传统STAP和RFT相比,Radon-STAP的

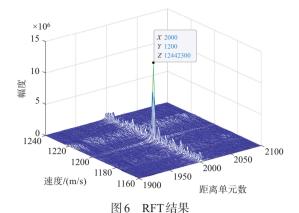


Fig.6 RFT result

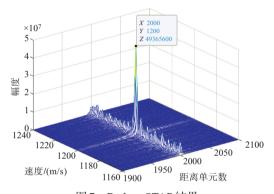


图 7 Radon-STAP结果 Fig. 7 Radon-STAP result

输出信杂噪比分别改善12.92dB和6.20dB。

在低信杂噪比(输入 SCNR=-32.27dB)情况下,单个阵元接收到的仿真回波信号如图 8 所示。

在低信杂噪比情况下,目标轨迹被杂波淹没。分别使用传统 STAP算法、RFT算法和本文所提出的 Radon-STAP算法对回波数据进行处理,得到处理后距离一速度维上的信号分别如图 9~图 11 所示。

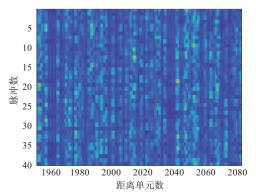


图 8 低信杂噪比情况下回波数据 Fig.8 Echo data in low SCNR

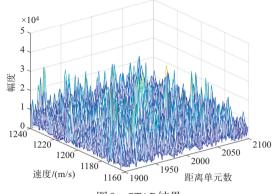


图9 STAP结果

Fig.9 STAP result

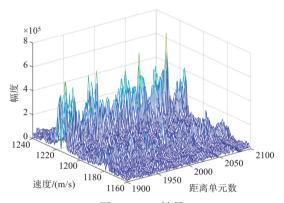


图10 RFT结果

Fig.10 RFT result

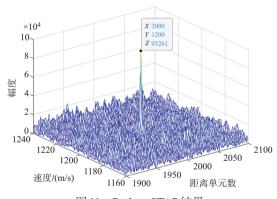


图11 Radon-STAP结果

Fig.11 Radon-STAP result

在低信杂噪比情况下,传统STAP算法和RFT算法失效,无法实现有效的杂波抑制和目标信号积累。Radon-STAP结果输出信杂噪比为22.05dB,依然能在目标所在的距离一速度单元得到目标能量峰值,说明在强杂波环境下Radon-STAP依然具有良好的杂波抑制和目标相参积累性能。

#### 3.2 多目标处理结果

对多目标情况进行仿真,沿用表1中的雷达平台系统仿

真参数。考虑两个目标,假设目标的径向移动速度分别为 1180m/s 和 1230m/s,初始距离单元分别为 2000 和 2050,目标所在的方位角度均为 60°。在高信杂噪比(输入 SCNR= 22.43dB)情况下,仿真单个阵元接收到的仿真回波信号如图 12 所示。

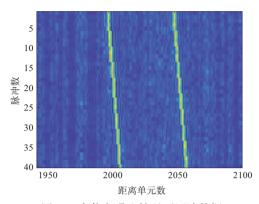


图 12 高信杂噪比情况下回波数据

Fig.12 Echo data in high SCNR

在高信杂噪比情况下,可以看到两条产生距离走动的目标轨迹。分别使用传统STAP算法、RFT算法和本文所提出的Radon-STAP算法对回波数据进行处理,得到处理后距离一速度维上的信号分别如图13~图15所示。

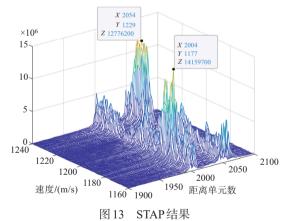


Fig.13 STAP result

STAP结果输出信杂噪比为33.44dB;RFT结果输出信杂噪比为43.08dB;Radon-STAP结果输出信杂噪比为46.10dB。与传统STAP和RFT相比,Radon-STAP的输出信杂噪比分别改善12.66dB和3.02dB。在多目标场景下,Radon-STAP仍具有良好的处理性能,可以有效抑制杂波并得到较高的目标相参积累峰值。

在低信杂噪比(输入SCNR=-31.66dB)情况下,仿真单

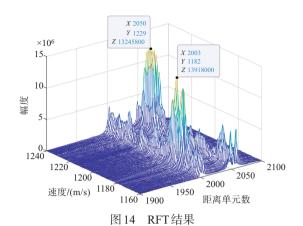


Fig.14 RFT result

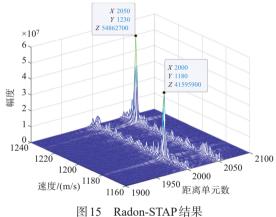


Fig.15 Radon-STAP result

个阵元接收到的仿真回波信号如图16所示。

在低信杂噪比情况下,目标轨迹被杂波淹没。分别使用传统STAP算法、RFT算法和本文所提出的Radon-STAP算法对回波数据进行处理,得到处理后距离一速度维上的信号分别如图17~图19所示。

在低信杂噪比情况下,传统STAP算法和RFT算法失

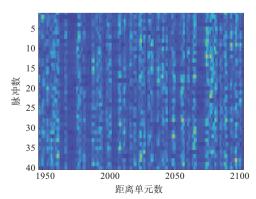


图 16 低信杂噪比情况下回波数据 Fig.16 Echo data in low SCNR

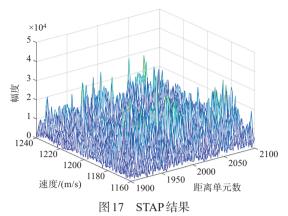


Fig.17 STAP result

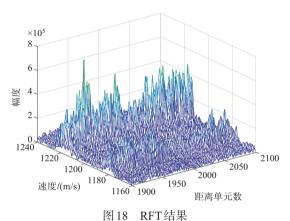


Fig.18 RFT result

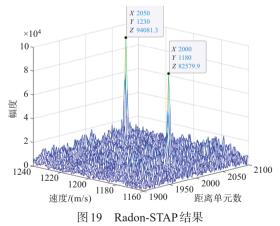


Fig.19 Radon-STAP result

效,无法实现有效的杂波抑制和多目标信号相参积累。 Radon-STAP结果输出信杂噪比为23.84dB,多目标场景下,依然能在每个目标所在的距离一速度单元分别得到目标能量峰值。说明在强杂波环境下Radon-STAP依然具有良好的杂波抑制和目标相参积累性能。

### 4 结束语

本文提出了一种适用于强杂波环境下机载雷达杂波抑制与高速目标相参积累联合处理的Radon-STAP算法。首先建立了高速目标的回波空时-距离走动模型,并基于回波信号快时间内的时频特征,设计相应的走动-多普勒联合补偿函数,对传统STAP算法中的自适应空时滤波进行改进,实现了在不同距离单元杂波相关性较差情况下的杂波抑制以及高速目标能量相参积累。仿真结果表明,该算法具有以下两个优点:一是可以实现低信杂噪比下的杂波抑制;二是可以在杂波抑制的同时完成高速目标的补偿与相参积累,达到良好的杂波抑制与高速目标积累效果。

#### 参考文献

- [1] 王美凤. 机载雷达目标检测及航迹规划方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2020.
  - Wang Meifeng. Research on airborne radar target detection and track planning methods[D]. Xi'an: Xidian University, 2020. (in Chinese)
- [2] 张俊飞. 机载预警雷达杂波抑制与目标跟踪方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2017.
  - Zhang Junfei. Study on clutter suppress and tracking algorithm of airborne surveillance radar[D]. Xi'an: Xidian University, 2017. (in Chinese)
- [3] 赵为伟, 宋晓伟. 机载雷达技术的发展现状及趋势[J]. 电子科技, 2018, 31(1): 79-82.
  - Zhao Weiwei, Song Xiaowei. Current situation and prospect for technology of airborne radar[J]. Electronic Science and Technology, 2018, 31(1): 79-82. (in Chinese)
- [4] Ji Cunxiao, Shen Mingwei, Liang Chao, et al. An improved OMP application for airborne radar space-time clutter spectrum estimation[C]. 12th International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE), 2017: 1-5.
- [5] Martorella M, Berizzi F, Bacci A, et al. Joint physical and virtual STAP for strong ground clutter suppression and imaging [C]. 2018 IEEE Radar Conference, 2018: 423-428.
- [6] 何文健. 动平台分布式雷达杂波和干扰抑制技术[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2021.
  - He Wenjian. Distributed radar clutter and interference suppression technology for moving platforms[D]. Xi'an: Xidian University, 2021. (in Chinese)

- [7] 谢文冲, 王永良, 熊元燚. 机载雷达空时自适应处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2024.
  - Xie Wenchong, Wang Yongliang, Xiong Yuanyi. Space-Time adaptive processing for airborne radar[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2024. (in Chinese)
- [8] Brennan L E, Reed L S. Theory of adaptive radar[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1973, 9(2): 237-252.
- [9] Ward J. Space-Time adaptive processing for airborne radar[M]. Lexington, USA: Lincoln Laboratory, 1994.
- [10] Melvin W L. A STAP overview[J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2004, 19(1): 19-35.
- [11] 潘锐, 赵群力. 国外高超声速飞机发展分析[J]. 航空科学技术, 2023, 34(11): 2-7.
  - Pan Rui, Zhao Qunli. Analysis on the development of hypersonic aircraft abroad[J]. Aeronautical Science & Technology, 2023, 34(11): 2-7. (in Chinese)
- [12] 王爽, 王开通, 曹金华, 等. 国外高速直升机的现状与发展趋势分析[J]. 航空科学技术, 2023, 34(12): 1-8.
  Wang Shuang, Wang Kaitong, Cao Jinhua, et al. Current
  - situation and development trend analysis of high-speed helicopter[J]. Aeronautical Science & Technology, 2023, 34 (12): 1-8. (in Chinese)
- [13] Huang Penghui, Liao Guisheng, Yang Zhiwei, et al. Approach for space-based radar manoeuvring target detection and high-order motion parameter estimation[J]. IET Radar, Sonar & Navigation, 2015, 9(6): 732-741.
- [14] Zhu Shengqi, Liao Guisheng, Yang Dong, et al. A new method for radar high-speed maneuvering weak target detection and imaging[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014, 11(7): 1175-1179.
- [15] Perry R P, DiPietro R C, Fante R L. SAR imaging of moving targets[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1999, 35(1): 188-200.
- [16] Zhang Shunsheng, Zhang Wei, Wang Yang. Multiple targets' detection in terms of Keystone transform at the low SNR level [C]. 2008 International Conference on Information and Automation, 2008: 1-4.
- [17] Xu Jia, Yu Ji, Peng Yingning, et al. Radon-Fourier transform for radar target detection(I) Generalized doppler filter bank[J].

- IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2011, 47(2): 1186-1202.
- [18] Xu Jia, Yu Ji, Peng Yingning, et al. Radon-Fourier transform for radar target detection (II): Blind speed sidelobe suppression [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2011, 47(4): 2473-2489.
- [19] Yu Ji, Xu Jia, Peng Yingning, et al. Radon-Fourier transform for radar target detection (III): Optimality and fast implementations[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2012, 48(2): 991-1004.
- [20] 孙智. 临近空间高速目标长时间相参处理算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.

  Sun Zhi. Research on long-time coherent processing
  - algorithms for near-space high-speed target[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China,

- 2020. (in Chinese)
- [21] Xu Jia, Yan Liang, Zhou Xu, et al. Adaptive Radon Fourier Transform for Weak Radar Target Detection[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2018, 54(4): 1641-1663.
- [22] Li Haodong, Liao Guisheng, Xu Jingwei, et al. Sub-CPI STAP based clutter suppression and target refocusing with airborne radar system[J]. Digital Signal Processing, 2022, 123:103418.
- [23] 孙智, 陈海旭, 蒋兴涛, 等. 基于 SMLRT-GRT-SVD 的机载雷 达海面慢速小目标信号积累与杂波抑制方法[J]. 信号处理, 2022, 38(7): 1380-1391.
  - Sun Zhi, Chen Haixu, Jiang Xingtao, et al. SMLRT-GRT-SVD Based Sea-Surface Slow and Small Target Signal Integration and Clutter Suppression Method for Airborne Radar[J]. Journal of Signal Processing, 2022, 38(7): 1380-1391. (in Chinese)

# Joint Processing of Airborne Radar Clutter Suppression and High-speed Target Coherent Integration Based on Radon-STAP

Xiao Zihao, Deng Jiangyun, Sun Zhi, Cui Guolong

University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China

Abstract: Due to the motion of the platform, the airborne radar detection will be affected by the space-time coupled clutter, resulting in target detection difficulties. Space-Time Adaptive Processing (STAP) can effectively suppress the space-time coupled clutter. However, for high-speed targets, the range migration of the echo signals will cause the mismatch of the space-time steering vectors, which causes declined clutter suppression performance of the traditional STAP algorithm. To solve the problem of high-speed target detection under strong clutter environment for airborne radar, a joint processing method based on Radon-STAP for clutter suppression and high-speed target coherent integration is proposed. Firstly, a space-time model of high-speed target echo with range migration is established, and the influence of clutter is taken into account. Then, the range migration is converted into phase change by transforming the echo signal to the frequency domain, and the corresponding Migration-Doppler joint compensation function is designed, so that the improved space-time filter is applied to Non-stationary clutter suppression and target coherent integration detection. Finally, the effectiveness of the proposed method is verified by simulation experiments. The present algorithm is able to achieve clutter suppression and effective integration of weak target signals despite the high target speed and the range migration.

Key Words: airborne radar; clutter suppression; high-speed target; coherent integration; Radon-STAP

Received: 2024-07-11; Revised: 2024-10-22; Accepted: 2024-12-11

**Foundation item**: National Natural Science Foundation of China(62101099), China Postdoctoral Science Foundation (2021M690558, 20227150100), Aeronautical Science Foundation of China (2022Z017080001)