

# 机载火控雷达近距离地面慢速目标检测

王彤, 保铮, 廖桂生

(西安电子科技大学雷达信号处理重点实验室, 陕西西安 710071)

**摘要:** 机载火控雷达对近距离地面慢速目标进行检测时, 由于地杂波散射体俯仰角随距离变化, 引起杂波的空时二维分布随距离变化, 呈现出严重的非平稳性. 在这种杂波环境中, 常规处理和空时二维处理都难以得到好的性能. 本文提出一种杂波频移补偿的方法, 对不同距离的杂波数据施加不同的频移变换, 有效减弱了杂波的非平稳性, 使杂波能量在二维平面内集中, 杂波分布面积大大减小. 仿真结果表明, 在检测近距离地面慢速目标时, 用频移补偿作为空时二维处理的预处理可以取得好的效果, 大大提高了系统的改善因子, 而且具有实现简单, 运算量小, 便于工程应用的优点.

**关键词:** 机载火控雷达; 非平稳杂波抑制; 空时二维自适应处理

**中图分类号:** TN957.51; TN959.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 06-0721-05

## Ground Short Range Slowly Moving Target Detection of Airborne Fire-Control Radar

WANG Tong, BAO Zheng, LIAO Gui-sheng

(Key Laboratory of Radar Signal Processing, Xidian University, Xi'an, Shanxi 710071, China)

**Abstract:** In the ground short range slowly moving target detection of airborne fire-control radar, the two dimensional clutter spectrum varies with range due to the variation of elevation angle and shows high non-homogeneity. In this case, good detective performance can not be obtained by using either conventional or STAP processing method. In this paper, a compensating method of clutter spectrum is proposed. Transforming data of different range ring with different frequency-shift, it can weaken the non-homogeneity effectively and locate the clutter energy center in a very small area of two dimensional plane. The computer simulation results show good performance and high improvement factor can be obtained when it is used as the pre-processor of STAP and it has the advantages of low complexity and ease of application.

**Key words:** airborne fire-control radar; non-homogeneous clutter suppression; STAP (Space Time Adaptive Processing)

### 1 引言

现代战争对作战飞机提出了新的要求. 在争夺制空权的同时, 作战飞机还必须能有效地支援地面部队, 对敌人的坦克、装甲车辆、自行火炮, 以及机动导弹发射架进行有力打击<sup>[1]</sup>. 因此机载火控雷达必须能够有效地对地面慢速目标进行检测.

机载脉冲多普勒雷达下视工作时, 较强的地杂波会使系统对动目标的检测性能大大下降. Brennan 等人提出的空时二维自适应处理是抑制地杂波提高检测性能的重要方法, 它在以侧视阵为主的机载预警雷达中的应用研究引起了广泛的重视<sup>[2-6]</sup>. 最近, R. Klemm 等人对前视阵的情况进行了一些分析<sup>[7-9]</sup>. 机载火控雷达是机载脉冲多普勒雷达中的一个特殊情况, 与机载预警雷达不同, 它采用前视阵, 由于载机运动速度快, 工作波长短, 这些因素使杂波的多普勒频率扩散更为严

重; 而且, 与正侧阵杂波谱沿直线分布而与俯仰角无关不同, 前视阵情况下的杂波谱在空时二维平面中的分布随俯仰角变化很快, 它是锥角和俯仰角的函数, 在近距离呈现出非平稳的特点. 在这种情况下, 常规处理和一般的空时二维处理都难以有效地抑制地杂波, 所以机载火控雷达对近距离地面慢速目标检测属于非平稳杂波条件下的检测问题, 必须采取一些特殊的措施.

分段处理将检测距离的全程分成若干段, 假设每一段内的杂波基本平稳, 对每一段单独计算协方差矩阵, 并由此得到该段的自适应权, 在杂波随距离缓慢变化的情况下可以取得较好的结果. 但它应用于机载火控雷达近距离慢速目标检测中存在计算量大, 难以获得估计协方差矩阵所需的足够多的距离门样本数据等问题. 本文提出一种检测近距离慢速运动目标的新方法——杂波频移补偿法, 通过对不同距离的数据

实施不同的频移变换,将不同距离的杂波谱对齐,使得近距离杂波数据的非平稳性大大减弱,在一定条件下可以有效提高系统对近距离慢速目标的检测性能.仿真实验结果证明该方法计算量小,可以获得很好的检测性能.

## 2 近距离杂波的特点

新型机载相控阵火控雷达的阵面通常固定在飞机上,不能象面天线那样依靠机械系统改变天线的姿态来完成方位和俯仰上的扫描,只能依赖每个阵元的相控组件(Phase Control Modules)通过相位调整进行波束控制.设阵面为矩形,为了简化对扫描方向的控制,我们这里采用平面阵的二维可分离控制,先将阵面上的阵元合成列子阵,各列内部用同样的加权作微波合成,形成俯仰方向图  $H(\phi)$ ,再将列子阵看成等效阵元,对等效阵元构成的等效线阵加权形成相对于天线轴的锥角方向图  $H(\theta)$ ,锥角与等效线阵的几何关系如图 1(a)所示.总的方向图为二者的乘积,即  $H(\phi, \theta) = H(\phi) \cdot H(\theta)$ .这种二维可分离的权控,其方向图有明显的俯仰角主平面和锥角主平面,在非主平面区域,副瓣电平为二维副瓣电平的乘积,其值是很小的.空时二维自适应处理的空域加权都是在列子阵合成以后进行,因此只对锥角方向图产生影响,对俯仰方向

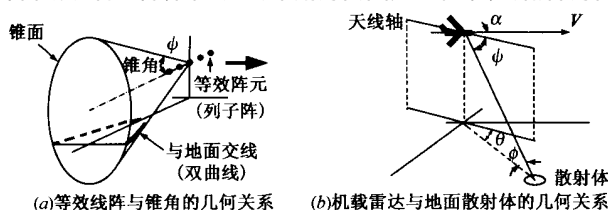


图 1 机载雷达等效线阵与散射体的几何关系

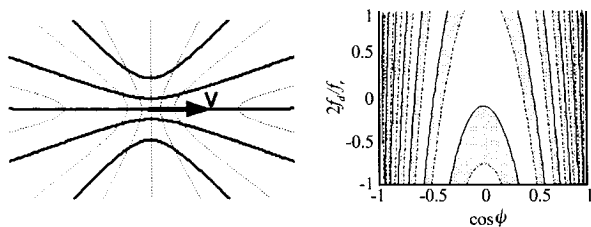


图 2 前视阵天线的等锥角线和等多普勒线

图 3 归一化二维地杂波图

图不进行自适应控制.如图 1(b)所示,设载机水平飞行,载机速度向量为  $V$ ,为天线轴向与速度方向的夹角,雷达工作波长为  $\lambda$ .可以看到若地杂波散射体相对于天线轴向的方位角为  $\theta$ ,俯仰角为  $\phi$ ,则散射体相对于天线轴的锥角  $\alpha$  满足  $\cos \alpha = \cos \theta \cos \phi$ , (对于阵面法线方向,锥角  $\alpha = 90^\circ$ ,俯仰角  $\phi$  与载机高度和所观测散射体的距离  $r$  有关.该散射体回波多普勒频率的公式为

$$f_d = \frac{2V}{\lambda} \cos(\theta + \phi) \cos \alpha = \frac{2V}{\lambda} (\cos \theta \cos \phi - \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \phi} \sin \alpha) \quad (1)$$

机载火控雷达是机载脉冲多普勒雷达中的一个特殊情况,它采用前视阵,载机运动速度快,工作波长短.而且由于地面慢速目标的速度小,在多普勒域里它十分靠近主瓣杂波,机载火

控雷达倾向于采用低重复频率,这样还避免了远距离目标和近距离杂波相竞争.对于机载火控雷达采用前视阵的特殊情况,  $\phi = -90^\circ$ ;式(1)可以简化为

$$f_d = \frac{2V}{\lambda} \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \alpha} \quad (2)$$

对于在机载预警雷达中应用的正侧视阵,地面上的等多普勒线和等锥角线是重合的,意味着杂波的多普勒频率只和锥角有关,和俯仰角无关.与此不同,图 2 给出前视阵情况下的等锥角线(实线)和等多普勒线(虚线),箭头方向为载机运动方向,天线轴向和载机运动方向垂直,这时等锥角线与等多普勒线不重合.随着距离增大,等锥角线与等多普勒线逐渐相似,但在较近的距离,它们互相交叉.说明地杂波的多普勒频率不仅与杂波散射体相对于天线阵轴向的锥角有关,而且与俯仰角有关.在较远的距离(距离  $r$  远大于载机高度  $h$ ),俯仰角接近于 0,距离变化引起的俯仰角变化的范围比较小,  $f_d$  的变化也比较小,可以认为杂波谱基本不随距离变化,即在较远的距离,杂波谱是基本平稳的.而对于近距离的杂波( $r < 10h$ ),距离变化引起的俯仰角  $\phi$  的变化就不能忽略了,此时,不同距离的二维杂波谱互不相同,这就给低速目标的检测带来了很大的困难.设载机飞行速度为  $300\text{m/s}$ ,飞行高度  $3000\text{m}$ ,雷达工作波长为  $0.03\text{m}$ ,天线阵面法线方向指向飞机正前方,脉冲重复频率为  $f_r = 2500\text{Hz}$ (低重复频率).以典型参数条件下  $10\text{km}$  和  $30\text{km}$  的地杂波分布为例,  $10\text{km}$  距离环对应俯仰角  $\phi$  为  $-17.501^\circ$ ,  $30\text{km}$  距离环对应俯仰角  $\phi$  为  $-5.873^\circ$ (这里的计算考虑了地球曲率对角度的影响).按公式可以得到两个距离环的杂波多普勒频率的最大值分别为  $19074.2$  和  $19895.0\text{Hz}$ ,大于脉冲重复频率 7 倍以上,所以地杂波在多普勒频率上是多重模糊的.由奈奎斯特(Nyquist)采样定律,系统的最大不模糊频率为  $f_r/2$ ,不模糊频带为  $(-f_r/2, f_r/2)$ ,该频带外的信号经采样后会混叠到该频带内,将杂波多普勒频率按最大不模糊频率  $f_r/2$  归一化并将混叠计算在内,可得归一化多普勒频率  $f_d/(f_r/2) = 2f_d/f_r$  随  $\cos \alpha$  的变化曲线,如图 3 所示.

从图中实线所示的  $30\text{km}$  的杂波分布曲线可以看到,由于机载火控雷达采用前视阵,工作波长较短,而且为避免距离模糊而采用较低的重复频率,这些特点加上载机运动速度很高,使得地杂波的多普勒频率多重模糊,杂波分布在  $(2f_d/f_r) \sim \cos \alpha$  图上的斜率非常大,这样就使得主瓣内的杂波在多普勒频率上分布很宽.在这种情况下,常规处理无法象空时二维处理那样沿杂波谱形成斜凹口,因而不可能取得好的检测性能.虚线所示  $10\text{km}$  的二维杂波分布曲线也是如此.对比两个距离环的曲线可以看到,  $10\text{km}$  和  $30\text{km}$  的杂波分布曲线的曲率和位置明显不同,说明机载火控雷达的杂波在距离上是不平稳的.图中的阴影部分表示了  $10\text{km}$  到  $30\text{km}$  区间内的杂波分布区域,可见这种不平稳性使杂波在二维平面内分布的面积大大增加,杂波谱被扩散了.这样即使减小主瓣宽度,主瓣内杂波多普勒带宽也不能有效地减小.

按前面归一化多普勒频率的定义,频率混叠后整个归一化多普勒频带宽度为 2,即  $(2f_d/f_r) \in [-1, 1]$ .以波束偏离阵

面法线 30 度为例,  $\cos \theta = \cos 60^\circ = 0.5$ , 设此时波束主瓣宽度为 5 度, 进入主瓣的 30km 的杂波的归一化多普勒带宽为 0.745, 进入主瓣的 10km 到 30km 区间的杂波的归一化多普勒带宽为 1.535; 当波束主瓣宽度缩小到 2 度时, 进入主瓣的 30km 的杂波的归一化多普勒带宽为 0.370, 进入主瓣的 10km 到 30km 区间的杂波的归一化多普勒带宽为 1.150. 可见主瓣杂波的多普勒频率非常宽, 而且整个近距离区间的杂波带宽并不随主瓣宽度的减小而迅速下降, 如果不采取一些特殊的措施, 由主瓣杂波引起的多普勒盲区会达到整个多普勒带宽的 50% 以上.

### 3 近距离杂波谱的频移补偿

从图 3 可以看到这种地杂波二维分布随距离变化的非平稳性对于地面慢速目标的检测造成了严重的障碍. 这种非平稳性表现为不同距离的地杂波的二维分布在曲率和位置上互不相同, 解决的方法之一是距离分段, 这会加大运算量, 同时参考样本不足会使协方差矩阵的估计不准确(详细情况在后面说明). 本文设法对不同距离的回波数据施加相应的变换, 以减小这种非平稳性, 提高系统对杂波的抑制能力. 在此, 提出以位置平移为基础的频移补偿方法.

设  $x_{nm}$  表示第  $n$  个阵元或子阵输出的第  $m$  次脉冲回波数据, 令  $X_{s,m} = (x_{1m}, \dots, x_{Nm})^T, m = 1, \dots, K, X_{t,n} = (x_{n1}, \dots, x_{nK})^T, n = 1, \dots, N$ , 整个二维场数据可以排列成如下  $K \times N$  阶矩阵的形式

$$X = (X_{s,1}, \dots, X_{s,K})^T = (X_{t,1}, \dots, X_{t,N}) \quad (3)$$

空时二维处理即是由此数据或此数据经过一定变换后构成协方差矩阵, 求得自适应权值, 再对数据进行滤波. 对某个阵元或子阵而言,  $K$  个脉冲代表了它的时域信息, 由此可以得到它的频谱, 给这  $K$  个脉冲的数据乘以一组权, 就会改变它的频谱, 新的频谱等于原来频谱与权系数的频谱的卷积. 如果给每一个单元或子阵的  $K$  个脉冲都乘以一个旋转因子序列  $e^{jm}, m = 1, \dots, K$ , 就可以对杂波的二维频谱进行时间频率方向的平移. 即

$$X_B = B \cdot X = \begin{bmatrix} 1 & & & 0 \\ & e^j & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & e^{j(K-1)} \end{bmatrix} \cdot X = [X_{s,1}, e^j X_{s,2}, \dots, e^{j(K-1)} X_{s,K}]^T \quad (4)$$

这样就对杂波数据进行了频移变换, 显然, 对于数据矩阵  $X$  这是一个线性变换. 对不同距离的杂波数据进行不同的频移变换, 就可以使这些杂波谱彼此靠近, 使杂波的不平稳性大大减弱. 由于对地面慢速目标检测, 主瓣杂波及其附近是我们最为关心的地方, 所以频移的原则是使不同距离的主瓣杂波频率基本相同. 同时, 不同距离的杂波分布曲线虽然在曲率上互不相同, 但在一定的俯仰角变化范围内, 它们的形状也具有强烈的相似性. 这样虽然频移是以主瓣杂波的中心频率为准的, 主瓣以外的区域同样会得到好处, 这一点我们可以从后面的仿真结果中看到.

对不同距离的二维数据施加不同的变换, 就是在变换中

对不同距离的数据采用不同的频移补偿参数. 我们可以从基本的几何关系出发, 推出频移参数与载机高度  $h$  和距离  $r$  的关系. 由三角形的余弦定理可以得到考虑地球曲率情况下雷达与地面散射体之间的斜距  $r$  与俯仰角  $\theta$  的关系

$$r = -\sin^{-1} \left( \frac{h}{r} + \frac{r^2 - h^2}{2r(R_e + h)} \right) \quad (5)$$

其中  $R_e$  为地球半径. 设主瓣的波束指向锥角为  $\theta_0$ , 所有的距离单元都以距离  $r_0$  为参考距离进行频移补偿,  $r_0$  对应俯仰角  $\theta_0$ ,  $r_0$  对应的距离环上的主瓣杂波多普勒中心频率为  $f_{d0}$ ; 距离  $r_1$  对应俯仰角  $\theta_1$ ,  $r_1$  对应的距离环上的主瓣杂波多普勒中心频率为  $f_{d1}$ , 采用公式(4)对  $r_1$  距离环的数据进行变换, 使变换后  $r_1$  距离环的主瓣杂波多普勒中心频率等于  $f_{d0}$ , 则频移补偿参数的取值应该用下面公式计算.

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{2(f_{d0} - f_{d1})}{f_r} = \frac{4V}{f_r} \left( \sqrt{\cos^2 \theta_0 - \cos^2 \theta_1} - \sqrt{\cos^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_0} \right) \\ &= \frac{4V}{f_r} \left( \sqrt{1 - \sin^2 \theta_0 - \sin^2 \theta_1} - \sqrt{1 - \sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_0} \right) \\ &= \frac{4V}{f_r} \left( \sqrt{\sin^2 \theta_0 - \sin^2 \theta_1} - \sqrt{\sin^2 \theta_1 - \sin^2 \theta_0} \right) \\ &= \frac{4V}{f_r} \left( \sqrt{\sin^2 \theta_0 - \left( \frac{h}{r_0} + \frac{r_0^2 - h^2}{2r_0(R_e + h)} \right)^2} \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{\sin^2 \theta_1 - \left( \frac{h}{r_1} + \frac{r_1^2 - h^2}{2r_1(R_e + h)} \right)^2} \right) \quad (6) \end{aligned}$$

图 4 所示的是频率平移补偿后的归一化二维杂波分布图, 与图 3 的情况一样, 实线表示 30km 的平移补偿后二维杂波分布曲线, 虚线表示平移后 10km 的二维杂波分布曲线, 这里假设波束指向偏离阵面法线 30 度(锥角为 60 度,  $\cos \theta_0 = \cos 60^\circ = 0.5$ ).

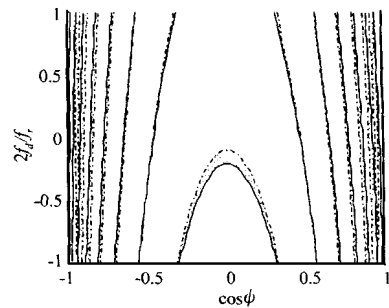


图 4 频移补偿后的归一化二维杂波图

由图中可以看到以  $\cos \theta = 0.5$  为中心的一段区间内, 两条曲线是基本重合的, 即主瓣杂波中心频率对齐了. 同时两条曲线的其它部分也靠近了, 这相当于减小了信号的非平稳性. 虽然在  $\cos \theta$  远离 0.5 的区域内两条曲线的多普勒频率还是有明显区别, 但是它们在整个二维平面上的面积却小多了, 杂波谱相对集中, 对于空时二维处理是比较有利的. 可以证明, 由于  $f_d$  随俯仰角  $\theta$  是单调变化的, 10km 到 30km 内任意距离的杂波谱补偿后必然落在图 4 所示的两条曲线之间, 图 4 中的阴影部分就是补偿后的 10km 到 30km 的杂波分布区间.

通常机载雷达主瓣杂波的中心频率对应地面上速度为 0 的静止物体, 而目标多普勒频率偏离主瓣杂波中心频率的距离对应目标在径向方向的速度. 在近距离由于主瓣杂波中心

频率随距离(俯仰角)变化,从一个多普勒通道输出的不同距离门的信号并不代表它们具有相同的地面径向速度.在频率平移补偿后,不同距离的主瓣杂波中心频率相同,从同一个多普勒通道输出的信号一定是具有相同的地面径向速度的信号,对于目标运动参数的估计有利,这是一个附带的好处.

频率平移补偿是对不同距离(俯仰角)的信号施加不同的变换,必须是在低重复频率下才能实现,这是这种方法的前提条件.由于地面慢速目标的速度小,在多普勒域里目标十分靠近主瓣杂波,同时为避免远距离目标和近距离杂波相竞争,机载火控雷达对地倾向于采用低重复频率,因而这个条件是容易满足的.

#### 4 仿真结果

在仿真中,我们采用 48 列  $\times$  8 行的前视阵,工作波长 0.03m,载机速度 300m/s,载机高度 3000m,发射方位加权 40dB,重复频率 2500Hz,脉冲积累数 64,波束指向方向偏离阵面法向 30度.系统共有 8 个空间硬件通道(和、差波束和 6 个辅助子阵),这些空间通道都是由列子阵进一步合成的,采用文献[6]提出的方位(锥角)局域化处理方法,先对每个硬件通道输出的 64 个脉冲用 FFT 作多普勒滤波,然后每个硬件通道取出三个相邻的多普勒时域通道作自适应处理,自适应处理自由度为  $8 \times 3 = 24$ .采用本文提出的频移补偿方法作预处理时,就要在 FFT 之前按照距离门对应的俯仰角对数据进行频移变换.

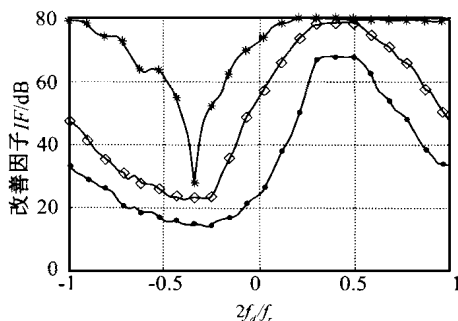


图 5 三种处理方式的改善因子对比

图 5 分别给出了三种系统的改善因子,其中圆点表示常规空时级联处理的结果,菱形表示一般空时二维处理的结果,星号表示先频率平移补偿后空时二维处理的结果.图 6 以第 38 号多普勒通道为例说明后两种情况下系统的二维响应,该通道归一化中心频率为  $2f_d/f_r = 0.156$ ,锥角指向  $\cos \psi = 0.5$ ,三角符号表示系统的理想二维指向.图 6(a)表示的是一般空时二维处理的情况,图 6(b)表示的是先频率平移补偿后空时二维处理的情况.由图中可以看到,常规处理不具有根据环境情况改变系统二维响应的能力,其结果最差;采用一般空时二维处理方法时,杂波不平稳造成杂波谱展宽,在一定的空时自由度的情况下,系统无法在杂波区(图中阴影部分)形成足够宽的斜凹口,仅仅是将主瓣挤偏以避开杂波区,其对杂波的抑制能力十分有限,而且主瓣中心在频率和锥角上都偏离了原定的波束指向,先频率平移补偿后空时二维处理的方法由于大大

减弱了杂波的非平稳性,使杂波的能量集中在二维平面内的较小的面积内,同时具有根据频移后杂波分布调整系统二维响应使输出信噪比最大的能力,在主瓣杂波区和旁瓣杂波区都形成了斜凹口,取得了较好的结果,其改善因子在很大一个范围内大大高于前两种方法,主瓣中心也没有偏离原定的波束指向.

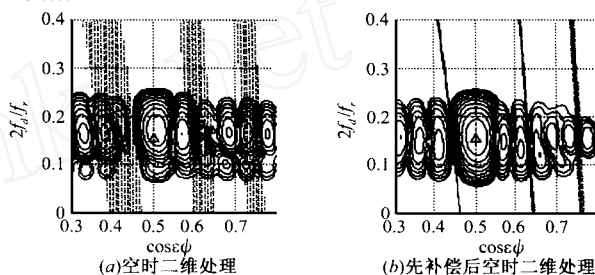


图 6 两种处理方式的二维响应和杂波分布

在仿真中,我们对分段处理的方法也进行了实验,将 10km 到 30km 这段距离分成若干段,每一段单独计算协方差矩阵和自适应权,进行处理.实验结果表明在分成 8 段的情况下,其结果还是不如频移补偿预处理的结果好,分段数再增加,就遇到了无法获得估计协方差矩阵所需的足够多的距离门样本数据的问题,而且分段处理的运算量很大.对于一个距离单元,频移补偿的运算量为  $N \times K$  次复数乘法,其中  $N$  为自适应处理的空域自由度(子阵、波束数), $K$  为脉冲数,在上面的仿真中  $N = 8$ ,  $K = 64$ ,需  $N \times K = 512$  次复数乘法运算,由于这些复数乘法互不依赖,可以并行计算,可见其在实际系统中的实现也并不困难.

#### 5 结束语

机载火控雷达对近距离地面慢速目标进行检测的时候,由于地杂波俯仰角随距离变化,引起杂波的空时二维分布随距离变化,呈现出严重的非平稳性,使杂波在二维平面内展宽到很大的面积,此时常规处理和一般的空时二维处理都难以获得很好的性能.本文提出一种杂波频移补偿的方法,对不同距离的杂波数据施加不同的变换,大大减弱了杂波的非平稳性,杂波能量在二维平面内集中,杂波分布面积大大减小.仿真结果表明,用频移补偿作为空时二维处理的预处理可以取得非常好的效果,大大提高了系统的改善因子,而且具有实现简单,运算量小,便于工程实现的优点.

#### 参考文献:

- [1] M T Fennell, R P Wishner. Battlefield awareness via synergistic SAR and MTI exploitation [J]. IEEE AES System magazine, Feb. 1998.
- [2] L E Brennan, I S Reed. Theory of adaptive radar [J]. IEEE Trans. 1973, AES-9(2): 273 - 252.
- [3] L E Brennan, J D Mallett, I S Reed. Adaptive arrays in airborne MTI [J]. IEEE Trans., AP-24(5): 607 - 615.
- [4] R Klemm. Adaptive airborne MTI: An auxiliary channel approach [J]. IEEE Proc., June 1987, 134, pt. F(3): 269 - 276.
- [5] 保铮, 廖桂生, 吴仁彪等. 相控阵机载雷达杂波抑制的时空二维

自适应滤波 [J]. 电子学报, 1993, 21(9): 1 - 7.

- [ 6 ] 廖桂生, 保铮, 张玉洪. 机载雷达时空二维部分联合自适应处理 [J]. 电子科学学刊, 1993, 15(6): 576 - 580.
- [ 7 ] R Klemm. Adaptive airborne MTI: Comparison of sideways and forward looking radar [A]. Proceedings of IEEE international Radar Conference [C], Alexandria, VA, USA, MAY 1995: 614 - 618.
- [ 8 ] P G Richardson and S D Hayward. Adaptive space-time processing for forward looking radar [A]. Processing of IEEE international Radar conference [C], VA, USA, MAY 1995: 629 - 634.
- [ 9 ] R Klemm. Adaptive airborne MTI with tapered antenna arrays [J]. IEE Proc. - Radar, Sonar Navig, Feb 1998, 145(1).

#### 作者简介:



王 彤 男. 1974 年生于陕西西安, 1996 年毕业于西安电子科技大学, 获学士学位. 现为西安电子科技大学雷达信号处理重点实验室在读博士生. 主要研究兴趣: 阵列信号处理, 空时二维自适应信号处理.



保 铮 男. 教授, 1927 年生于江苏南通, 1953 年毕业于中国人民解放军通讯工程学院, 现为中国科学院院士和中国电子学会会士. 研究方向为雷达信号处理.



廖桂生 男. 教授, 1963 年生于广西桂林, 近期研究兴趣为统计信号处理与阵列信号处理.