

旋转扫描散射计海面风场检测仿真研究

王新中 姜景山

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

摘 要 该文对 Ku 波段旋转扫描星载散射计进行了仿真研究。通过仿真模型建立、分辨面元提取与风矢量模糊解除,分析了散射计地面与星载定标特性,给出了散射计工作特性仿真结果。通过对均匀与旋涡两种模拟输入风场的仿真,表明这种旋转扫描散射计风场检测及利用 Moore 方程进行风场反演的有效性。

关键词 雷达归一化后向散射截面(RCS),分辨面元,风矢量,模糊解除

1 引 言

雷达散射计技术是海面风场遥感的重要技术,机载与星载散射计可分为扇形波束与笔型波束两大类^[1]。对于扇形波束系统,其分辨面元的提取可通过速度或者距离划分办法。对于笔形波束则一般通过天线角度测量来区分面元。扇形波束系统已在 Ku 波段 Seasat-A 卫星散射计(SASS) C 波段 ERS-1 和 ERS-2 卫星上研制成功并运行^[1-3]。对于笔形波束系统,1982 年姜景山教授与 Moore 教授提出了一旋转扫描散射计(Scanscat)。此系统正在中国科学院空间科学与应用研究中心研制的多模态微波遥感器(M³RS)中得到研制与开发。

Seasat-A 和 ERS-1 的散射计采用了扇型波束天线,通过 Doppler 滤波器进行面元提取。SASS 在每 1 个分辨面元上可测得 4 个向后散射系数(平台飞行的前向与后向波束与水平/垂直极化方式的组合),而 ERS-1 可测得 3 个向后散射系数(平台飞行的前向、后向与中间波束)。类似于 Seasat-A 和 ERS-1 上的扇形波束散射计,旋转扫描散射计也结合了平台飞行的前向与后向散射系数的测量,它具有垂直与水平极化两个抛物面天线,通过水平角旋转方法达到风场扫描成像的目的。天线扫描 1 周在 1 个分辨面元上可测得 4 个向后散射系数,由于入射角固定,海面散射模型(Moore 方程)更易确定,有可能采用 Seasat-A 和 ERS-1 的散射模型进行风矢量反演。Scanscat 较之扇形波束系统。它具有 4 个优点:(1)所采用的天线尺寸较小,并且没有扇形波束所存在的天线展开问题;(2)可以降低对发射功率的要求,节省星

上能源;(3)对遥感平台的要求不高;(4)易于定标校准。

Scanscat 是一种全新的扫描成像散射计,国外的星载扫描成像散射计迄今有报道的是 NASA 的 Seawinds 散射计^[4](单抛物面双馈源),并也正在研制开发之中,因此有必要对这种散射计的海面风矢量场检测进行仿真研究。

海面风矢量场检测需要正确的海面风浪场雷达归一化后向散射模型,国外对模型已进行了大量研究,但结合具体散射计的成像仿真研究还未见报导。由于频段、每个分辨元上风场反演方式的相似性,该文利用 Seasat-A 散射计 SASS 的模型进行了 Scanscat 成像仿真研究。通过仿真研究,表明所示的面元划分方式中利用 SASS 模型(Moore 方程)进行风矢量反演是有效的。在仿真计算中,没有直接利用雷达方程,而是考虑了波束内的功率及频率的不均匀性(天线波瓣特性)及散射计特性,进行直接积分计算,以获得高精度仿真。通过计算星载飞行时的 Doppler 回波频谱,分析星载与地面定标,进行地面定标系数修正,为散射计在地面进行定标提供了可能性。在风矢量反演中,采用最小距离判决算法,仿真还给出了这种旋转扫描散射计的其他特性。由于对均匀风场的反演仿真不能全部反映散射计性能,模拟了一旋涡海面风场,以进一步检验散射计的工作特性。

2 后向散射模型

至今已经有大量的实际观测^[5-7]与理论模型^[8,9]用来研究、描述雷达归一化后向散射截面(RCS)值

收稿日期:1996年5月13日;收到修改稿日期:1996年9月25日

σ^0 (以下简称散射系数) 与风速 U 、水平面风向 φ 、入射角 θ 及极化方式 P 的关系式:

$$\sigma^0 = D(U, \varphi, \theta, P) \quad (1)$$

$D(U, \varphi, \theta, P)$ 的建立一般是依据正确的海面散射物理模型或通过大量的观测数据, 拟合成 φ 的付立叶级数前三项之和 (经验模型)。Moore 方程 (1) 描述了在一定入射角下散射系数与水平面角之间的关系:

$$\sigma^0 = A_0 + A_1 \cos(\varphi) + A_2 \cos(2\varphi) \quad (2)$$

M³RS 散射计工作于 Ku 波段 13.9GHz, 入射角 37°。由于中国还未进行有关的实际测量, 该文利用了 SASS 入射角为 40°、中心频率为 14.65GHz、已被机载观测证实的散射模型及其参数^[1], 具体表示为:

$$\begin{aligned} \sigma^0 = & \frac{1}{4}(\sigma_u^0 + 2\sigma_c^0 + \sigma_d^0) + \frac{1}{2}(\sigma_u^0 - \sigma_d^0)\cos\varphi \\ & + \frac{1}{4}(\sigma_u^0 - 2\sigma_c^0 + \sigma_d^0)\cos(2\varphi) \end{aligned} \quad (3)$$

$\sigma_u^0, \sigma_c^0, \sigma_d^0$ 分别为上行、交叉、下行风的散射系数。

可表示为:

$$\sigma_u^0(\theta) = S_u(\theta)U^{\gamma_u(\theta)}, \quad (4)$$

$$\sigma_c^0(\theta) = S_c(\theta)U^{\gamma_c(\theta)}, \quad (5)$$

$$\sigma_d^0(\theta) = S_d(\theta)U^{\gamma_d(\theta)}, \quad (6)$$

U 为风速, $S(\theta), \gamma(\theta)$ 为通过观测数据拟合的, 与入射角 θ 有关的参数, 见表 1。

表 1 SASS 散射模型参数 ($\theta=40^\circ$)

Table 1 Parameter of SASS backscatter model

极化方式 系数	垂直极化		水平极化	
	$10^3 S(\theta)$	$\gamma(\theta)$	$10^3 S(\theta)$	$\gamma(\theta)$
上行风	0.88	1.71	0.26	1.91
下行风	0.28	2.11	0.12	2.08
交叉风	0.051	2.36	0.034	2.29

3 测量座标

建立如图 1 的坐标系, 包括主坐标系 (X, Y) 和以波束足迹中心为原点的子坐标系 (I, J)。平台距海面高为 H , 飞行速度为 V_s , 与 X 方向一致。波束入射角 (波束与星点下轴的夹角) 为 θ , 波束宽度角为 A 。天线扫速为 ω (度 / s)。波束地面投影与 Y 轴夹角为 $m = \omega t$, 地球半径为 R_e 。 $V(x, y), \varphi(x, y)$ 分别为海面风速、风向。在 $t = 0$ 时刻, 平台位于 $(0, L, H)$ 。天线顺时针扫描, 被照射面元中心

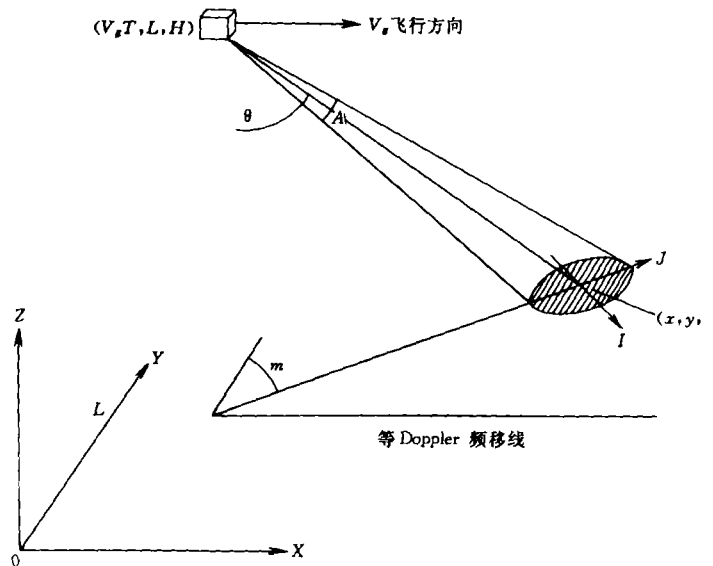


图 1 散射计工作座标

Fig.1 Simulation of scatterometer

位置 (波束轨迹方程) 为:

$$x = V_s R_e / (R_e + H) t + H \tan \theta \sin(\omega t) \quad (7)$$

$$y = L + H \tan \theta \cos(\omega t) \quad (8)$$

波束照射到海面的波束足印为一椭圆, 忽略目标本身运动及地球自转的影响, 椭圆中心散射回波的 Doppler 频移为:

$$f_d = \frac{2V_s H \sin \theta \sin m}{\lambda(R_e + H)} \quad (9)$$

由于椭圆各点内的 θ, m 不同, 频移是不同的, 回波谱线有不同程度的展宽现象。

对回波功率的计算可直接利用雷达方程, 但这将忽略波束内的不均匀性, 不利于散射系数精确计算。利用直接积分法, 设接收机的幅频特性为 $C(f)$ (通过内定标确定), 散射计的发射脉宽为 τ , 散射计在一个发射脉冲内, 认为 m 不变, 忽略大气、云、雨、雾的衰减影响, 接收机输出强度 (幅度与时间之积) 为波束照射海面内各点回波的积分:

$$\begin{aligned} S(t) = & \frac{1}{(4\pi)^3} P_r \lambda^2 \tau \iint C \left\{ f_0 + \right. \\ & \left. \frac{2V_s H [\sin(j + \theta) \sin(i + \omega t + \Delta i) - \sin(\omega t) \sin \theta]}{\lambda(R_e + H)} \right\} \\ & \cdot D_{pp} [V(i, j), \varphi(i, j) - \omega t] \frac{G^2(i, j)}{[H / \cos(\theta + j)]^4} didj \quad (10) \end{aligned}$$

$pp = HH, VV$, 分别代表水平与垂直极化, $D_{pp}(V,$

φ)为散射模型, f_0 为散射计工作中心频率。 $G(i, j)$ 为天线增益方向图(收发天线共用)、 P_t 为发射功率。散射计的 Doppler 频移跟踪是通过根据天线水平角度来确定末级中频放大器的本振设定值, 跟踪误差主要是由于平台偏航角 Δi 引起的。(10)式积分范围为(11)式的椭圆方程, 此方程是以子坐标系(i, j)为参考的。

$$\frac{i^2}{(A/2)^2} + \frac{j^2}{(A/2\cos\theta)^2} = 1 \quad (11)$$

文中所给的散射计参数为 $A = 5^\circ$, $H = 700\text{km}$, $V_g = 7.8\text{km/s}$, $\omega = 30(\text{度/s})$ 。天线增益图主瓣内函数假设为

$$G(i, j) = G_0 \cos[(i/A)\pi] \cos[(j/(A\cos\theta))\pi] \quad (-A/2 < i, j < A/2) \quad (12)$$

4 面元划分与定标

旋转扫描风散射计采用了两个地面方位角相差 90° 的水平与垂直极化天线与交替扫描工作方式。随着平台相对于地面向前移动, 形成了如图 2 中的波束足印图, 其宽度称之为刈幅。为了提高信噪化, 在散射计回波信号处理时, 对每个 10° 内接收的回波信号进行积分, 每 10° 形成了 1 个分辨面元。

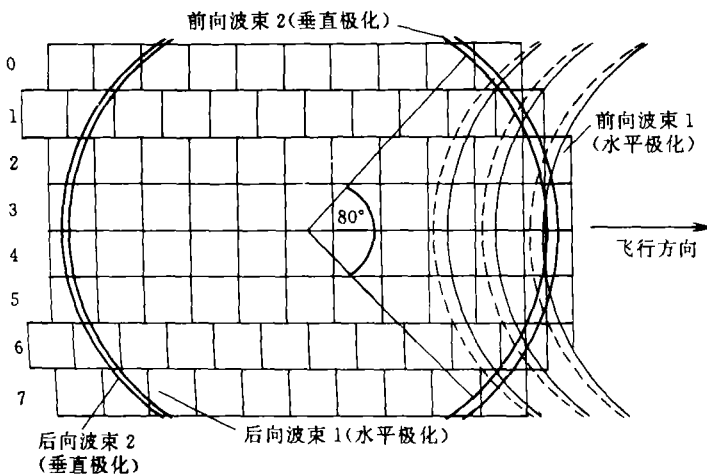


图 2 波束足印与分辨面元划分

Fig.2 Illustration of footprints and resolution cell extraction

根据每个分辨面元中 4 个波束足印的交叠情况各不相同, 采用如图 2 所示面元的划分方法。面元在平行于平台飞行方向的长度为平台地面投影在天线扫描一周内的前进距离, 垂直于平台飞行方向的长度为刈幅的 $1/8$ 。在面元 3, 4 平台前向波束足迹经过 T_c 圈扫描与平台后向波束足迹重叠。在散射计工

作时, 调整天线扫描速度使 $T_c = 10 - 12(T_c = (2H\omega \tan\theta / 360V_g))$, 可使各面元内 4 个波束足印达到最好交叠状况。

散射计所测量得到值必须经过地面数据处理进行定标才有意义。理想途径是实地目标物绝对定标, 即在星上对已知散射系数(等于常数 D_0)的目标进行测量, 接收机输出为 $S^c(t)$, 被测海面的 σ^0 值可表达为:

$$\sigma^0 = D_0 \frac{S(t)}{S^c(t)} \quad (13)$$

考虑 K_i 个脉冲积分:

$$\sigma^0 = \frac{1}{Q_s} K_i D_0 S(t) \quad (14)$$

$$Q_s = K_i S^c(t) \quad (15)$$

Q_s 定义为星载定标系数。

但这种定标实现困难, 若已知大气、云、雨、雾的衰减值, 可在地面进行定标, 即用入射角为 0 , 归一化 RCS 为定值(D_0), 离天线距离为 B 的固定值目标物进行的。此时接收机输出为 $S_b^c(t)$ 。设发射脉冲的周期为 T_p , 通过 10° 内 K_i 个脉冲积分,

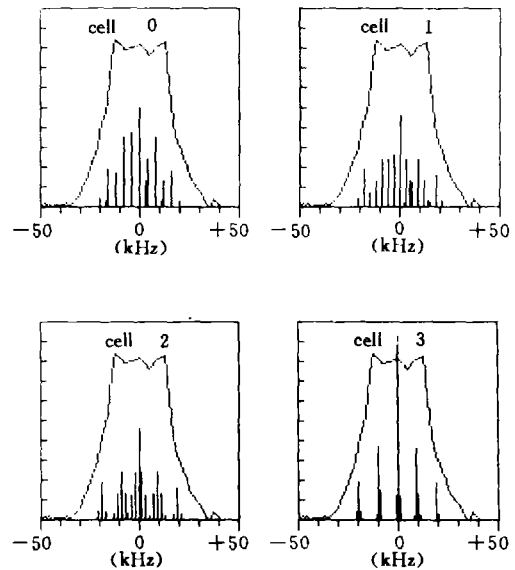


图 3 接收机幅频特性(连续线)与面元 0—3 中心点回波信号频谱特性(竖线)

面元 4—7 与 0—3 对称, 中心点的 Doppler 频移分别为: 356kHz, 393kHz, 419.9kHz, 432.9kHz (平台前向扫描波束)

Fig.3 The frequency response of scatterometer (continue curve) and backscatter signal spectrums (vertical line)

σ^0 应为

$$\sigma_k^0 = \frac{B^4}{(H/\cos\theta)^4} \frac{\sum_{i=0}^{K_i} D_0 S_k(t+IT_p)}{K_i S_B^c} \quad (16)$$

$$= \frac{1}{Q_r} \frac{B^4}{(H/\cos\theta)^4} \sum_{i=0}^{K_i} D_0 S_k(t+IT_p)$$

$Q_r = K_i S_B^c$ 定义为地面定标系数, k 为所划分的面元序号。此时回波信号不含 Doppler 频率分量, 散射回波信号为单一谱线, 接收机输出 S_B^c 应为:

$$S_B^c = \frac{1}{(4\pi)^3 B^4} \tau P_r \lambda^2 C(V_0) G_0 \iint G^2(i, j) di dj \quad (17)$$

散射计实际工作时, 回波信号不可能是单一谱线, 而是据不同的面元, 有不同的发散(图 3), 有不同 Q_v 与 Q_h 比值。因 Q_v 容易测得, 可以从地面定标系数反推星载定标系数。

5 风矢量反演

已知确定的 Moore 方程就有可能通过所测量的 4 个散射系数求得唯一风矢量(但不一定是正确解)。首先选取 4 个散射系数, 建立方程。

如图 2, 天线的扫描工作过程是当水平极化波束顺时针依次照射前向 8 个面元期间, 垂直极化天线不工作。水平极化波束扫完前向 8 个面元时, 天线开关转换至垂直极化天线, 照射前向 8 个面元。接着水平极化波束扫描后向 8 个面元, 然后垂直极化波束扫描后向 8 个面元, 从而完成天线一周的扫描。这样在面元确 2, 3, 4, 5, 天线经过 T_i 圈扫描, 在面元 1, 6, 天线经过 (T_i-1) 圈扫描, 在面元 0, 7, 天线经过 (T_i-2) 圈扫描, 就可在每个面元上测得 4 个散射系数, 建立 4 个方程:

$$\sigma_{1,i}^0 = D_{HH}(V, \varphi - 10i) \quad (18)$$

$$\sigma_{2,i}^0 = D_{VV}(V, \varphi - 10i) \quad (19)$$

$$\sigma_{3,i}^0 = D_{HH}[V, \varphi - 10(7-i) + 180] \quad (20)$$

$$\sigma_{4,i}^0 = D_{VV}[V, \varphi - 10(7-i) + 180] \quad (21)$$

HH, VV 分别代表水平与垂直极化, $i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$, 代表面元号。对这些方程组的解可以唯一确定这个面元的风速 V 和风向 φ 。对所有扫描的面元求解风矢量, 即可以得到一个大范围的风矢量场。

该文采用与模型无关的全风场搜索法解此方程组。方法是, 给定一散射系数和此散射系数的 Moore 方程, 使风速从 4—25m/s (0.1m 每步) 风向 $0^\circ-360^\circ$ (1° 每步) 分别代入 Moore 方程, 求得散射

系数与被测的散射系数比较, 寻找相交点。利用散射系数与风速的单调关系, 从 4 个散射系数可获得 4 条曲线 $p1(\varphi), p2(\varphi), p3(\varphi), p4(\varphi)$, 分别对应前向水平、垂直极化与后向水平、垂直极化 4 个波束。如图 4, 对于每一条曲线, 都对应了 360 个风矢量解, 通过两条曲线的交点对应若干解, 这就是

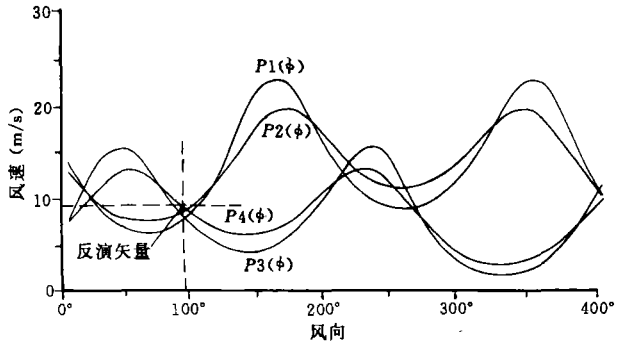


图 4 风矢量反演

Fig.4 Illustration of wind vector recover

解的模糊性。通过 3 条或 3 条以上曲线, 可确定一个风矢量。对应于这 4 条曲线的最接近点, 是模糊解除后最佳风矢量反演点。在文献 [3] 中, 将风速划分精度较低的离散点 (2m/s), 采用了最大似然法找此点。因采用高精度划分, 4 条曲线可认为是连续函数曲线, 为减少计算量, 采用找 4 条曲线间相互距离值

$$\sum_{i=1}^4 \left| P_i(\varphi) - \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 P_j(\varphi) \right| \quad (22)$$

最小点方法确定反演风向 φ_r , 随之可确定反演的风速:

$$V_r = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 P_i(\varphi_r) \quad (23)$$

6 仿真计算

假设风场变化周期远大于天线扫描周期, 忽略平台高度误差, 首先输入一场匀风场, 每个面元风矢量均为 10m/s, $180^\circ, \Delta i = 0$, 无 Doppler 频移跟踪误差。散射计的随机误差归结为有效值为 σ_m , 均值为零的白噪声, 其样值为 $m(\sigma_m)$ 。仿真计算得到的散射系数 σ^0 修正为:

$$\sigma^0 + Zm(\sigma_m) \quad (24)$$

Z 为噪声幅度系数, 表 2 给出了反演结果, $\sigma_1^0 \sigma_2^0 \sigma_3^0 \sigma_4^0$ 为面元中心的理想值, $\sigma_a^0 \sigma_b^0 \sigma_c^0 \sigma_d^0$ 为仿真计算值, 散射系数均乘上了 100 倍, 反演风矢 (m/s, 度) 为

Monte Carlo 模拟平均值。取 $\sigma_m = 0.001$, $Z = 1$, 对应于散射计设计的 40dB 最佳信噪比指标。在每个面元上的 4 个散射系数有不同程度的误差, 原因是各个面元波束交叠情况不同, 散射系数测量有不相关性。但由于误差不大, 未造成风矢量反演很大的误差, 这说明采用 Moore 方程反演风矢量在此散射计中是有效的。

表2 输入均匀风矢 (10m/s, 180°)

Table 2 Recover of wind vectors with input speed 10m/s, direction 180°

面元	0	1	2	3	4	5	6	7
σ_1^0	1.68	1.88	2.03	2.10	2.1	2.03	1.88	1.68
σ_2^0	1.75	1.93	2.02	2.04	2.08	1.93	1.79	1.57
σ_3^0	3.42	3.92	4.29	4.49	4.5	4.29	3.92	3.42
σ_4^0	3.60	4.06	4.28	4.34	4.4	4.06	3.69	3.14
σ_5^0	1.13	1.27	1.38	1.44	1.43	1.38	1.27	1.14
σ_6^0	1.06	1.21	1.3	1.39	1.42	1.37	1.32	1.18
σ_7^0	2.68	3.1	3.42	3.56	3.55	3.4	3.11	2.68
σ_8^0	2.44	2.9	3.22	3.44	3.54	3.42	3.21	2.83

反演风矢 9.8, 178 9.9, 179 9.8, 181 10, 175 9.9, 175 10, 183 9.9, 176 9.8, 184

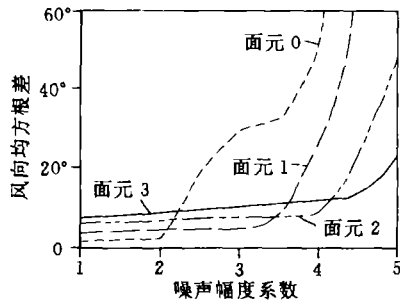


图 5 反演风向标准差与噪声幅度系数关系
输入风矢 (10m/s, 180°)

Fig.5 Standard deviation of recover direction versus noise amplitude

考虑不同面元上的反演精度及不同噪声幅度下的反演精度比较。如图 5 与图 6, 由于 8 个面元的对称性, 只给出了面元 0—3 的结果。可以看出, 风速的反演精度要高于风向。在低噪声条件下, 边缘的面元精度要高于中心的面元, 但随着噪声增加情况正好相反。

图 7 给出面元 3 在不同的风向下风向反演精度, 可以看出在横向风 (90°, 270°) 附近, 随着后向散射幅度降至极小点, 信噪比下降, 反演精度也随之下降。

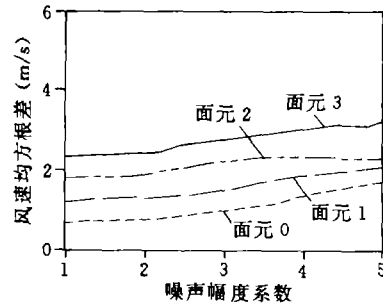


图 6 反演风速标准差与噪声幅度系数关系
输入风矢 (10m/s, 180°)

Fig.6 Standard deviation of recover speed versus noise amplitude

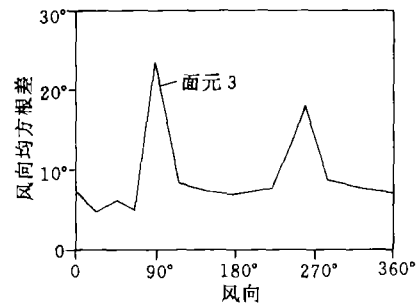


图 7 反演风向标准差与风向关系
噪声幅度系数 Z = 1

Fig.7 Standard deviation of recover speed versus input wind direction

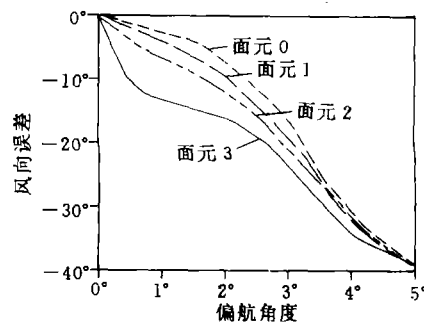


图 8 风向反演误差与偏航角度

Fig.8 Errors of recovered direction versus deviation angle

图 8 为反演误差与偏航角度 (Doppler 频移跟踪误差) 的关系, 指示了出中间面元 (面元 3, 4) 易受偏航角影响的情况。

为进一步检验散射计工作情况, 输入模拟旋涡风场 (相当于一热带风暴), 可按如下计算:

$$V(x, y) = \frac{60}{\sqrt{(x-L)^2 + [1.5(y-L)]^2 / 100} + 3} + 4(m/s) \quad (25)$$

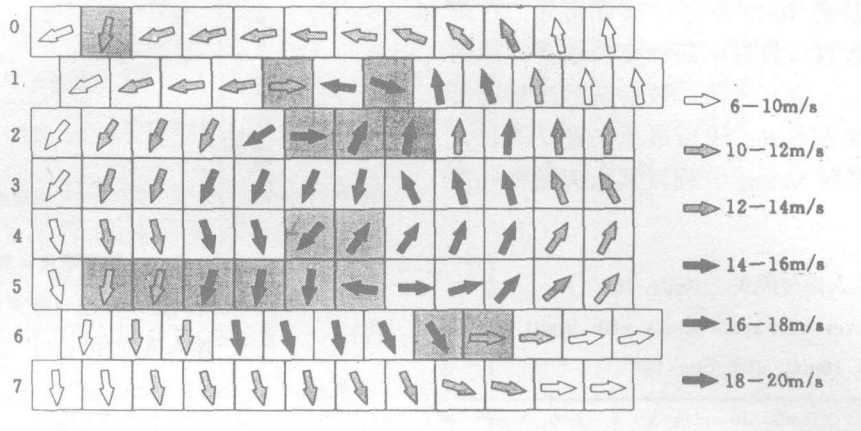


图 9 旋涡风场输入时的反演风场图示

灰色面元为风速超过 2m/s, 风向超过 20° 的反演不正确面元

Fig.9 Recovered wind field with input of whirl wind field

$$\varphi(x, y) = \arctan \left[\frac{x - L}{1.5(y - L)} \right] + 150^\circ \quad (26)$$

参照气象卫星云图, 根据散射计工作刈幅大小 (均为 $1 \times 10^2 \text{km}$ 量级), 可推断其合理性。波束足印图中心通过旋涡风场中心, 是散射计工作较为典型的恶劣输入条件。图 9 给出了反演结果, $\Delta i = 0$, 无 Doppler 频移跟踪误差。可见旋窝风场中心附近风矢量的不均匀性将给反演带来较大的误差。

7 小结

由于 Scanscat 正处在研制中以及遥感器平台飞行轨道未完全确定等因数, 作了些必要的合理的仿真输入假设, 同时也忽略了一些对散射计影响较小因素 (地球自转, 轨道变化)。通过仿真研究, 验证了这种笔形波束扫描计对海洋风场观测及利用扇形波束 Seasat-A 散射计的 Moore 模型的有效性。同时通过仿真, 指出了可利用地面定标代替星载实际飞行定标。

海面风矢量测量正确程度主要归根于海面散射模型的正确性, 得出当输入为均匀风场时, 采用 SASS 的散射模型进入风矢量反演是完全有效的。仿真得出的散射计这些特性将对散射计实际工作的准确性及验证海面散射模型的正确性有重要的作用。

参 考 文 献

[1] Fawwaz T. Ylaby, Richard K. Moore, Adrian K. Fung. Microwave Remote Sensing Active and Passive. Volume II

[2] William L. Grantham. The Seasat-A Satellite Scatterometer. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 1977, OE-2 (2).

[3] European Space Agency Contract Report, Satellite Scatterometer Feasibility Study. Final Report, April, 1981.

[4] Instrument Investigation-Sea Winds. MTPE / EOS Reference Handbook, 1995, 164-166.

[5] Yuguang Liu, Willard J. Pierson Jr. Comparison of Scatterometer Models for the AMI on ERS-1: The Possibility of Systematic Azimuth Angle biases of Wind Speed and Direction. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 1992, 30 (4).

[6] Peter H. Hildebrand. Estimation of Sea-surface Winds Using Backscatter Cross-section Measurements from Airborne Research Weather Radar. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 1994, 32 (1).

[7] S. V. Nghiem, Fuk K. Li, Shu-hsiang Lou, Gregory Neumann, Robert E. McIntosh, Steven C. Carson, James R. Carswell, Edward J. Walsh, William M. Drennam. Observation of Radar Backscatter at Ku and C Bands in the Presence of Large Waves during the Surface Wave Dynamic Experiment. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 1995, 33.

[8] K. S. Chen, A. K. Fung, David E. Weissman. A Backscattering Model for Ocean Surface. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 1992, 30 (4).

[9] David E. Weissman, Kenneth L. Davidson, Robert A. Brown, Carl A. Friehe, Fuk Li. The relationship between the microwave radar cross section and both wind speed and stress: Model function studies using Frontal Air-sea Interaction Experiment data. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 99 (C5): 10,087-10,108.

作 者 简 介

王新中, 男, 1968 年 6 月出生, 1995 年毕业于浙江大

学信电系, 博士, 助研。现从事航空遥感实时图象传输及多模态微波遥感器散射模态信号处理与控制部分的研制, 已

发表“磁控管前沿抖动测试技术研究”、“道路车辆数字图象采集系统”等文章。

Study of Ocean Surface Wind Field Detection of Scan-scatterometer

Wang Xinzhong Jiang Jingshan

(Center for Space Science and Applied Research, Academia Sinica of China, Beijing 100080)

Abstract This paper investigates the ocean surface wind field detection of a Ku band space-borne scan-scatterometer. The resolution cell extraction method and the wind vector ambiguous solution are presented. The ground and space flight calibrating and scatterometer working characteristics are analyzed. The simulation has shown the effectiveness of wind field detection of this scatterometer and the backscatter model (Moore equation) under homogeneous and whirl wind fields respectively.

Key words Radar backscatter cross section, Resolution cell, Wind vector, Ambiguous solution.