

文章编号: 1004-4965 (2007) 05-0497-08

基于 MVAD 技术的多普勒雷达径向速度 退模糊方法的改进研究

张少波, 陆汉城, 张鹏, 康建伟

(解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101)

摘 要: 对 Gong (2003) 提出的基于 Modified VAD 技术的多普勒雷达径向速度退模糊方法进行了改进。原方法从各高度上径向风速的方位梯度信息中估计水平风廓线的分布, 在使用各高度参考风进行一次退模糊的基础上, 进行连续性检验完成整个退模糊过程。使用参考风进行退模糊能在很大程度上提高退模糊的效率。但是由于中小尺度系统的扰动和复杂的采样覆盖的影响, 一般很难获得比较准确的估计水平风速, 这将对进一步的退模糊过程产生很大的影响。针对这个问题, 在水平风估计过程增加了质量控制参数, 使其能够更好地估计水平风。此外, 还对原方法中的几项参数的选择进行了讨论和调整。通过对两个个例的退模糊试验, 检验了改进后方法的效果。

关 键 词: 退模糊; MVAD 方法; VAD 方法; 参考风

中图分类号: P412.25 文献标识码: A

1 引 言

多普勒天气雷达基于多普勒效应获得目标物相对于雷达的径向移动速度, 多普勒天气雷达所能测得的目标物的最大径向速度称为最大不模糊速度或 Nyquist 速度, 它受到采样频率(雷达脉冲重复频率)的限制, 当目标物相对于雷达的运动速度超过最大不模糊速度时就会发生折叠现象, 也称作速度模糊现象。观测到的径向速度 v_r 与真实的径向速度 v_o 满足如下关系

$$v_r = v_o + 2nv_m \quad (1)$$

其中 n 为整数, 称为 Nyquist 数, v_m 为 Nyquist 速度。

近几年来, 随着我国新一代多普勒天气雷达建设的完成和雷达资料的反演和同化研究取得的进展^[1], 多普勒雷达资料已被广泛应用于强对流天气的探测分析、诊断研究以及短时和临近预报等领域。因此, 多普勒雷达径向速度模糊问题和退模糊技术也相应地受到了更多的重视。由于使用硬件退模糊技术实施起来比较困难, 所以近年来, 很多专业人员相继提出了很多的软件退模糊方法。最早的方法为单径向上

“点-点”对比方法^[2], 1984 年 Merrit 提出了二维方法, 后经 Boren (1986), Bergen 和 Albers^[3] (1988) 进一步发展完善。该方法利用单仰角上的二维数据进行退模糊, 并必须使用参考风场消除大区域的整体模糊。Gao 等^[4] (2004) 将变分方法引入到退模糊过程中, 该方法将环境风场作为背景约束, 径向速度的距离和方位梯度信息作为观测约束, 对 Nyquist 数进行调整, 表现出比较好的效果。我国在这方面的研究还比较少, 梁海河等^[5] (2002) 提出了“双径向-双切向”的速度扩展方法, 并配合人机交互方法, 表现出较好的退模糊效果。

为了解决非多普勒雷达探测资料构造的参考场遇到的空间和时间不匹配的问题。Tabary 等 (2001) 提出的 Modified VAD 方法^[6], Gao 等提出的 GVAD 方法^[7]及 Günther 等提出的圆环面方法^[8], 都是在包含模糊现象的径向风速资料中通过径向速度的方位梯度信息估计各个高度上的水平风速。Gong 等^[9] (2003) 在此基础上提出了使用基于 MVAD 方法获得的水平风廓线作为参考场进行退模糊处理的方法, 该方法在径向上将采样区域分为若干段, 在每段中寻找有效采样覆盖率满足要求的圈,

收稿日期: 2006-04-16; 修订日期: 2006-11-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40575022); 国家重点基础研究专项 (2004CB418300) 资助

作者简介: 张少波, 男, 陕西蓝田人, 在读博士生, 主要从事中尺度气象学和多普勒天气雷达资料处理的研究。E-mail: zhangshbo@gmail.com

进行 MVAD 反演, 经过检验和拟合, 得到整个采样范围内的水平风廓线, 从而进行退模糊处理。这种方法能从多普勒雷达本身的信息中获得参考风速, 具有比较好的业务应用前景。但这种退模糊方法也存在着缺点, 即在有效采样覆盖率较小的情况下, 由于强的中小尺度系统的扰动和复杂的采样资料分布, 从径向速度的方位梯度获得的各高度上的水平参考风还会有较大误差。

经过对原有方法的分析和讨论, 本文对原退模糊方法中使用 MVAD 估计水平风的方法进行了改进, 采用质量控制参数对各高度上的反演结果进行评价, 代替了原来的方法。在本文的第二部分简要介绍了 MVAD 方法的反演原理; 第三部分详细介绍了 Gong(2003)等提出的退模糊方法的步骤, 对其中的水平参考风的估计步骤中加入了质量控制参数, 对一些原有参数的选择进行了讨论和调整; 第四部分对改进后的方法进行了真实资料的检验。

2 MVAD 反演方法原理

在等高面上风场呈线性分布的假定下, 水平风分量可以近似表示为

$$\begin{aligned} u &= u_0 + x(\partial u/\partial x)_0 + y(\partial u/\partial y)_0 \\ v &= v_0 + x(\partial v/\partial x)_0 + y(\partial v/\partial y)_0 \end{aligned} \quad (2)$$

式中 u_0 , v_0 , 和 $(\partial u/\partial x)_0$, $(\partial u/\partial y)_0$, $(\partial v/\partial x)_0$, $(\partial v/\partial y)_0$ 分别表示在中心位置上, x 和 y 方向上的风速分量和偏导。在垂直坐标系中的某一点在极坐标系中表示为

$$\begin{aligned} x &= r \cos \alpha \sin \theta \\ y &= r \cos \alpha \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

其中 (x, y) 为直角坐标系中某一点的位置, r 、 α 、 θ 分别为极坐标中的距离、仰角、方位角(正北方向为 0 度, 顺时针方向为正向)。径向速度 v_r 可以表示为 $v_r = u \cos \alpha \sin \theta + v \cos \alpha \cos \theta + (w - w_t) \sin \alpha$ (4) 式中 w 为空气的垂直速度, w_t 为散射体的下落末速度, 将式 (2) 和 (3) 代入式 (4) 得到

$$v_r = a_0 + \sum_{n=1}^2 (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) \quad (5)$$

其中

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.5r \cos^2 \alpha (\partial u/\partial x + \partial v/\partial y) + (w - w_t) \sin \alpha \\ a_1 &= v_0 \cos \alpha, \quad b_1 = u_0 \cos \alpha \\ a_2 &= -0.5r \cos^2 \alpha (\partial u/\partial x - \partial v/\partial y) \\ b_2 &= 0.5r \cos^2 \alpha (\partial u/\partial y + \partial v/\partial x) \end{aligned}$$

通过对雷达资料某圈上径向速度 v_r 的最小二乘法就可以估计出 a_0 , u_0 和 v_0 , 这就是 VAD (Velocity azimuth display) 方法的反演原理。但是 VAD 方法不能应用于包含模糊的径向风速资料中去, 因此 Tabary 等 (2001) 对式 (5) 求方位的偏导, 得到

$$\frac{\partial v_r}{\partial \theta} = \sum_{n=1}^2 n(b_n \cos n\theta - a_n \sin n\theta) \quad (6)$$

可以看出, 在包含模糊但 Nyquist 数相同的情况下式 (6) 同样成立。假如获得方位梯度 $\frac{\partial v_r}{\partial \theta}$ 在某圈上的分布, 通过最小二乘法就可以估计出 u_0 和 v_0 , 这就是 MVAD (Modified VAD) 方法。

在从包含模糊的径向风速资料中如何获得方位梯度的问题上, Tabary 和 Gao 提出了不同的方法, Tabary 通过在 $2\theta = 50^\circ$ 方位窗口中的采样资料进行梯度估计; Gao 是在相邻方位的库进行梯度估计, 然后通过一次低通滤波。在这两种方法中都对不满足要求的点进行剔除。根据我们的试验, 提出了新的算法, 在下面的退模糊过程中详细介绍。

3 退模糊方法步骤

原始径向速度资料在退模糊之前首先通过了使用 Bergen 和 Albers (1988) 提出的方法做去除孤立点和填补缺测点的预处理。从准确和快捷的角度出发, 整个退模糊过程主要分为三步:

第一步, 将各个仰角的雷达资料采样范围分为若干段, 在每段上选择资料覆盖率满足要求的圈, 通过 MVAD 进行水平风速估计, 经过质量控制获得各个高度上的平均风。

第二步, 将各高度上的平均风插值到各个圈, 得到参考径向风速, 进行退模糊处理, 并对不满足退模糊要求的库进行标记。

第三步, 在径向和切向上采用连续性检验, 对标记点进行退模糊处理。

3.1 使用 MVAD 反演各高度平均水平风速

在经过杂波剔除后, 首先将各个仰角的采样资料沿径向分为 60 个等距离段, 每段上包含同样个数的等距离圈, 一般探测范围越大分成的段数越多, 这样做是为了在某一高度上都有足够的样本数。在每段上寻找一个采样资料覆盖率最大且超过 55% (约 200 个采样资料) 的圈, 如果某一段上不存在满足条件的圈, 则该段上就认为没有可被进行作 MVAD 处理的圈。因此, 总的可被用来做

MVAD 反演的圈一般少于各仰角上总的分段数。

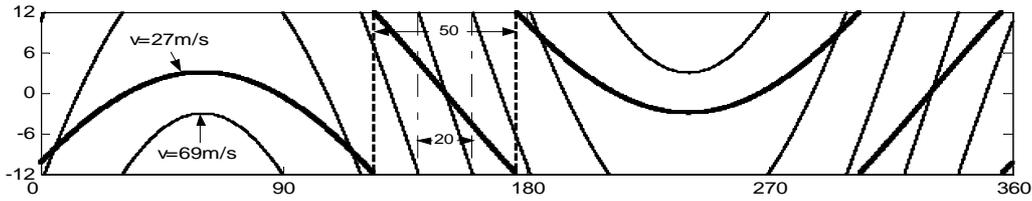


图 1 包含模糊现象的径向风速随方位的分布 横坐标为方位 (单位:°), 纵坐标为径向风速 (单位:m/s)。

对于满足条件的圈，通过如下处理获得径向速度的方位梯度：每一个库上的 $\frac{\partial v_r}{\partial \theta}$ 在 20° 的窗口上 (方位正反向各 10°) 选择与当前方位上径向速度 v_{r0} 满足： $|(v_r - v_{r0})| < \Delta v_r$ 的库，其中 v_r 为窗口中某方位的径向速度，为了排除沿方位上不同 Nyquist 数的库， Δv_r 取为 v_m ，例如 v_m 取为 12 m/s ，对可以满足的最大风速进行估计。假设风场呈均匀分布，忽略垂直速度的影响，则径向风速可表示为 $v_r = V \sin(\theta - \theta_0 - \pi/2)$ ， V 为最大风速， θ_0 为风向。由于 $\frac{\partial v_r}{\partial \theta} = V \cos(\theta - \theta_0 - \pi/2)$ ，即 径向速度的方位梯度最大值与 V 相同，则可以对 V 估计： $V = 2v_m / (20\pi/180)$ ，则如图 1 所示，最大能满足约 69 m/s 的最大风速，即包括台风等大多数的风场情况都能满足。假如考虑 Tabary 选择的 20° 窗口，则最大只能满足约 27 m/s 的风速，当大于 27 m/s 的风速时，在当前方位的某一侧就可能会出现第 3 个 Nyquist 数的径向风速，而不会被去除。

在整个窗口中满足条件的库的个数大于 12 的情况下，对这些库的径向风速进行线性方程拟合，则获得的线性方程的梯度就是径向速度的方位梯度。在平均风速计算之前，还必须对 $\frac{\partial v_r}{\partial \theta}$ 进行一次极值剔除和低通滤波。极值剔除即剔除绝对值大于 69 m/s 的梯度，并当梯度分布满足下面两个条件：(1) 整个圈上有效梯度个数超过 100；(2) 有效梯度之间的最大缺测方位小于 180° 。则进行低通滤波，对梯度的低通滤波采用如下公式

$$\left(\frac{\partial v_r}{\partial \theta}\right)^k = \frac{\sum_{j=k-N/2}^{k+N/2} w_j \left(\frac{\partial v_r}{\partial \theta}\right)^j}{\sum_{j=k-N/2}^{k+N/2} w_j} \quad (7)$$

式中上标 k 表示方位 N 表示滤波中共用到的方位数， w_j 表示权重，即

$$w_j = 1 - |(j - k)|/N \quad (8)$$

当 $N = 10$ 时，式 (7) 能减弱大多数的高频波动。

在经过以上处理之后，就可以通过 MVAD 方法估计该高度上的 u_0 、 v_0 。

3.2 采用质量控制参数进行垂直插值

通过以上步骤，在每个仰角上都得到若干组不同高度上的 u_0 、 v_0 ，由于在 MVAD 反演中梯度样本数及梯度精度的原因，即使在相邻的高度之间，它们也可能有较大差距，因此要想把它们插值在某个空间范围内，怎么对这些得到的结果进行评价是很关键的。

原方法中直接将 MVAD 估计的 u_0 、 v_0 代入公式 (5)，令 $a_0 = 0$ ，并忽略二次项，估计该圈各方位径向风速参考值 v_r^{ref} ，对原数据进行一次退模糊，当该圈正确退模糊的采样数大于 50 个、且两个正确退模糊采样点之间的方位间隔小于 180° 时，对其使用 VAD 方法估计 u_0 、 v_0 ，并作为最终结果。MVAD 方法获得的各层上的风速包含较大误差，假如不经过控制直接代入式 (5) 进行径向风速估计，该圈并不能正确的退模糊，则以上两个条件也不能排除错误退模糊的采样点，最终导致 VAD 方法估计的结果仍旧包含较大误差。

因此，引入质量控制参数对该过程进行改进是很必要的。将 MVAD 估计得到的 u_0 、 v_0 代入式 (5)，并忽略式 (5) 中垂直速度和散射体的下落末速度，估计该圈各方位径向风速参考值 v_r^{ref} ，对该圈上每一方位上的原始径向速度做一次预退模糊，Nyquist 数由下式决定

$$n = \text{int}[(v_r^{ref} - v_r) / 2v_m] \quad (9)$$

其中 v_r^{ref} 代表径向速度参考值， int 表示距离最近的整数。当确定 n 之后，引入如下质量控制参数

$$\sigma = \sum_{i=1}^{360} [v_{rj}^{ref} - (v_{rj} + 2n_j v_m)]^2 / \text{num} \quad (10)$$

式中 num 为该圈上有效采样点数，则参数 σ 可以表征该圈上 MVAD 反演结果的准确度。通过对各个仰角各段上参数 σ 的计算，在每 0.5 km 高度范围内选择对应参数 σ 最小的一组 u_0 、 v_0 作为该高度上的平

均风速,选择 0.5 km 是为了尽量在大的样本数中选择最优的风速估计值。参数 0.5 km 的选择还需要根据更多的试验进行调整。对得到的各个高度上的水平风速做一次 3 点平滑,即使用相邻高度上的 3 组 u_0 、 v_0 平均值代替本身高度的 u_0 、 v_0 。通过以上步骤就可以得到某一空间上的垂直廓线,该空间包括了雷达大部分的采样范围所在的高度。

3.3 使用各个高度上的参考风进行退模糊处理

通过将以上各高度上的水平风速插值到该空间(风廓线所覆盖的空间)内的各仰角的各圈上,代入式(5)就可以得到各个方位上的径向速度参考值 v_r^{ref} ,从而对原始径向速度做退模糊处理。在退模糊过程中使用式(9)来确定 Nyquist 数,并仅当 $|(v_{rj}^{ref} - (v_{rj} + 2n_j v_m))| < 0.5v_m$ 的情况下被暂时认为是正确的退模糊处理,否则不做退模糊处理,并标记该库为 1。

经过以上的退模糊处理,风廓线所覆盖的空间范围内只剩下较少的标记为 1 的库没有进行退模糊处理,它们一般是一些中小尺度系统的扰动,如中气旋、下击暴流等都属于这种系统,而这种系统的风场并不是均匀的,因此在这些中小尺度周围一般会存在一些被以上的标准错误的退模糊的区域。为了消除这种影响,我们采用 Gong (2003) 的标准对所有没有标记的库做如下检验:

(1) 在与每个无标记库径向和切向相邻的 8 个库中,最多不超过 3 个有标记的;

(2) 在每一个无标记库的径向风速与它相邻的无标记点的径向速度平均值之差必须小于 5 m/s;

(3) 在径向方向上每个无标记点必须与至少 4 个无标记的点相连。

如果有任意一条不满足,则该库被标记为 1。经过以上的检验,就可以确定无标记点退模糊的正确性。剩下的步骤都是针对有标记库进行。

3.4 连续性检验退模糊。

通过以上的两步,剩下的有标记点主要是一些小尺度系统,它们一般都具有较大的风切变,必须通过连续性检验来进行退模糊。连续性检验是基于风场在空间上满足连续性的假设下进行的,通过在切向和径向上的相邻的若干个采样点的径向速度进行比较来对有标记点退模糊。

使用 Gong (2003) 提出的方法进行连续性检验退模糊,只对其中的参数基于我们的试验给予调整,该方法可以很好的处理以上的问题。

在径向上沿正向和反向作连续性检验,只对有

标记的点进行处理。以切向顺时针、径向正向的退模糊为例,来说明连续性检验的步骤,假定有标记点坐标为 (θ, i) 其中 θ 为方位, i 为距离库。对有标记点的处理中选择两个参考值,一个是通过径向上的连续性检验得到:在径向上寻找距有标记库最近的刚退过的无标记库(向 i 减小方向寻找),如果距离当前库小于 5 个库长,则该库上的径向速度将作为退模糊的径向速度参考值。如果这样的点不存在,则在与当前方位相邻的刚退过的方位 $(i-1)$ 上,沿径向寻找与当前库最近的 9 个库中至少 5 个无标记点,如果这些点上的径向速度的标准差不超过 5 m/s,则它们的径向速度平均值将作为当前库的径向速度参考值。假如标准差大于 5 m/s,那么说明该处的切向梯度也应该很大,因此它们的平均值不能作为参考。另一个参考值是通过在切向上的连续性检验得到的,在与当前方位相邻的刚退过的方位 $(i-1)$ 上,从距离当前库最近的 5 个库中寻找距离最近的一个无标记点,以该点上的径向速度作为参考值。在径向和切向上的两个径向风速参考值中,假如任意一个参考值被找到,那么按照式(9)进行退模糊,假如两个参考值都存在,那么它们应该使 Nyquist 数趋于某一相同的 n 值,否则该点将无法进行退模糊处理。逆时针、反向时针参考值寻找正好与之相反。

将沿着正向(远离雷达)和反向(向着雷达)的退模糊结果进行比较,假如在某个库上只有一个方向上能够退掉模糊,或者两个方向都可以,且得到了同样的退模糊结果,则认为退模糊结果是正确的;假如两个方向都不能退掉模糊,或者两个方向都能够退掉,但是退模糊结果不同,就认为在该库上无法得到正确的退模糊结果。

与径向上沿正向和反向进行的退模糊相似,切向上的退模糊也在每一层仰角上按照顺时针和逆时针方向同时平行进行,对顺时针和逆时针方向的退模糊结果进行比较,采用相似的方法得出结论:假如只有一个方向退掉模糊,或两个方向的退模糊结果相同,则认为退模糊结果正确;假如两个方向都不能退掉模糊,或者两个方向都能够退掉,但是退模糊结果不同,就认为在该库上无法得到正确的退模糊结果。退模糊之后则该库的标记被去除。

4 实际资料检验

为了检验改进后本方法的实用性,我们对浙江省台州市的两次多普勒天气雷达体扫资料进行退模糊处理。台州市的 LLX06SDN 多普勒天气雷达为 10

cm 波长，探测过程中库长为 300 m，最大不模糊速度为 11.7 m/s。

图 2 (见 502 页) 是 2002 年 8 月 25 日 18 点 31 分 3.5 度仰角的多普勒雷达退模糊前后径向速度的分布和强度场分布，雷达在 (300, 300) 点位置。该个例为一次强对流过程，环境风场中叠加了小尺度的扰动。图 2a 为强度场分布；图 2b 为退模糊之前的径向速度分布，存在多块模糊区域，且在较近的距离圈上存在模糊，在这种情况下，没有参考场的退模糊方法很难确定不模糊起始点的位置，所以一般是行不通的。但是使用 MVAD 方法就可以比较容易的从包含模糊现象的径向速度资料中获取参考场。在图 2b 中雷达的西面 5 km 高度左右存在较大的一块模糊区域，该处径向风速明显大于其他位置，在使用改进前的方案时，该高度上的估计风速明显发生偏离，导致该区域退模糊失败。使用改进后的 MVAD 方法获得的水平参考风虽然也有较大偏离，但能够很好的完成

整个退模糊过程。图 2c 即为使用以上得到的参考风进行一次退模糊后的径向速度分布，可以看到大部分的模糊已经退掉，剩下的模糊区域主要在 4~6 km 上的两个风速中心处和低层有小扰动的强回波处。图 2d 为使用连续性退模糊之后的径向速度分布，可以清楚看到模糊现象已经完全消除。MVAD 估计的参考风与退模糊后使用 VAD 方法估计结果比较如图 3 可以看出，除在 4~6 km 高度上 u 分量有较大误差外，其它都比较接近。VAD 和 MVAD 结果的不同与雷达西面约 5 km 高度上存在一块模糊区域有关，该处大的西风分量在 VAD 结果中 u 分量贡献很大，而对 MVAD 结果中贡献很小，MVAD 方法计算的 u 分量主要依赖于 0° 和 180° 方位上径向风速方位梯度。这是造成 4~6 km 高度上较大误差的主要原因。

图 4 为退模糊前后 3.5 度仰角上距离雷达 12 km 处径向速度随方位的分布，可看到原本存在的模糊完全消除，径向风速随方位分布基本连续起来。

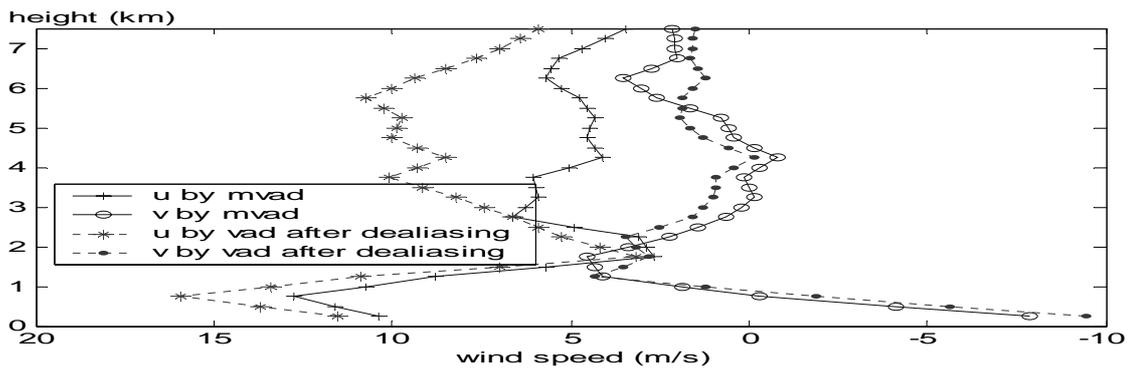


图 3 MVAD 参考风速与退模糊之后 VAD 结果比较 (2002 年 8 月 25 日)

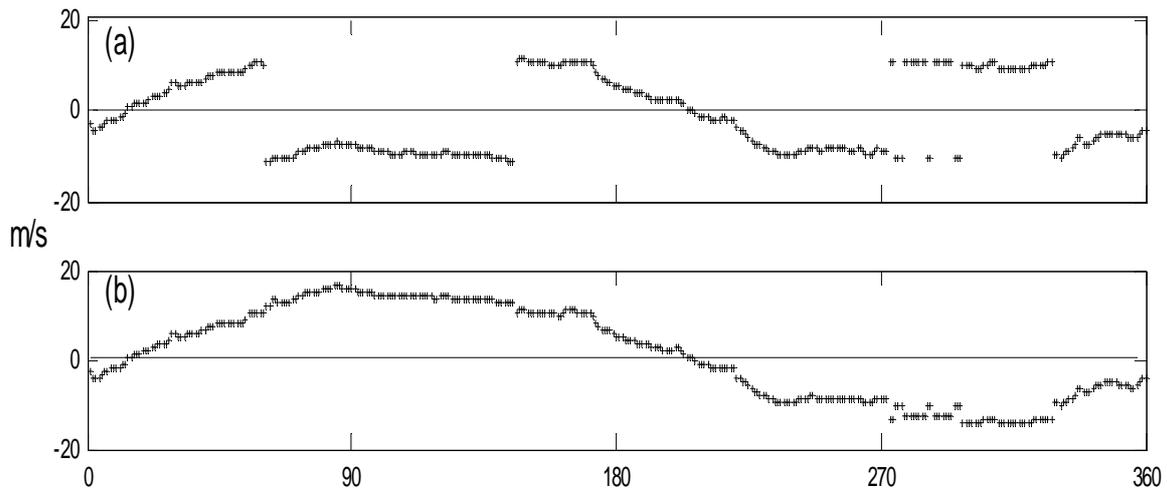


图 4 3.5 度仰角上距雷达 12 km 的径向速度随方位分布 (2002 年 8 月 25 日) (a) 退模糊之前；b) 退模糊之后

图 5 为 2005 年 6 月 22 日的一次暴雨过程的扫描资料，等高面上小尺度的扰动很弱。图 5a 和 5b

分别为退模糊前后的 2.0 度仰角上的径向速度分布，最大不模糊速度为 11.7 m/s。由图 5 可以看出，风场

随高度有强烈的旋转，通过 MVAD 方法获得的参考风与退模糊后 VAD 方法获得的风廓线结果比较，如图 6 所示，各高度上的风向风速都比较接近。

度仰角上距雷达 45 km 的 360 度方位上的径向速度进行分析，如图 7 所示，先后采用参考风和连续性检验步骤，很好的退掉了原来的模糊。

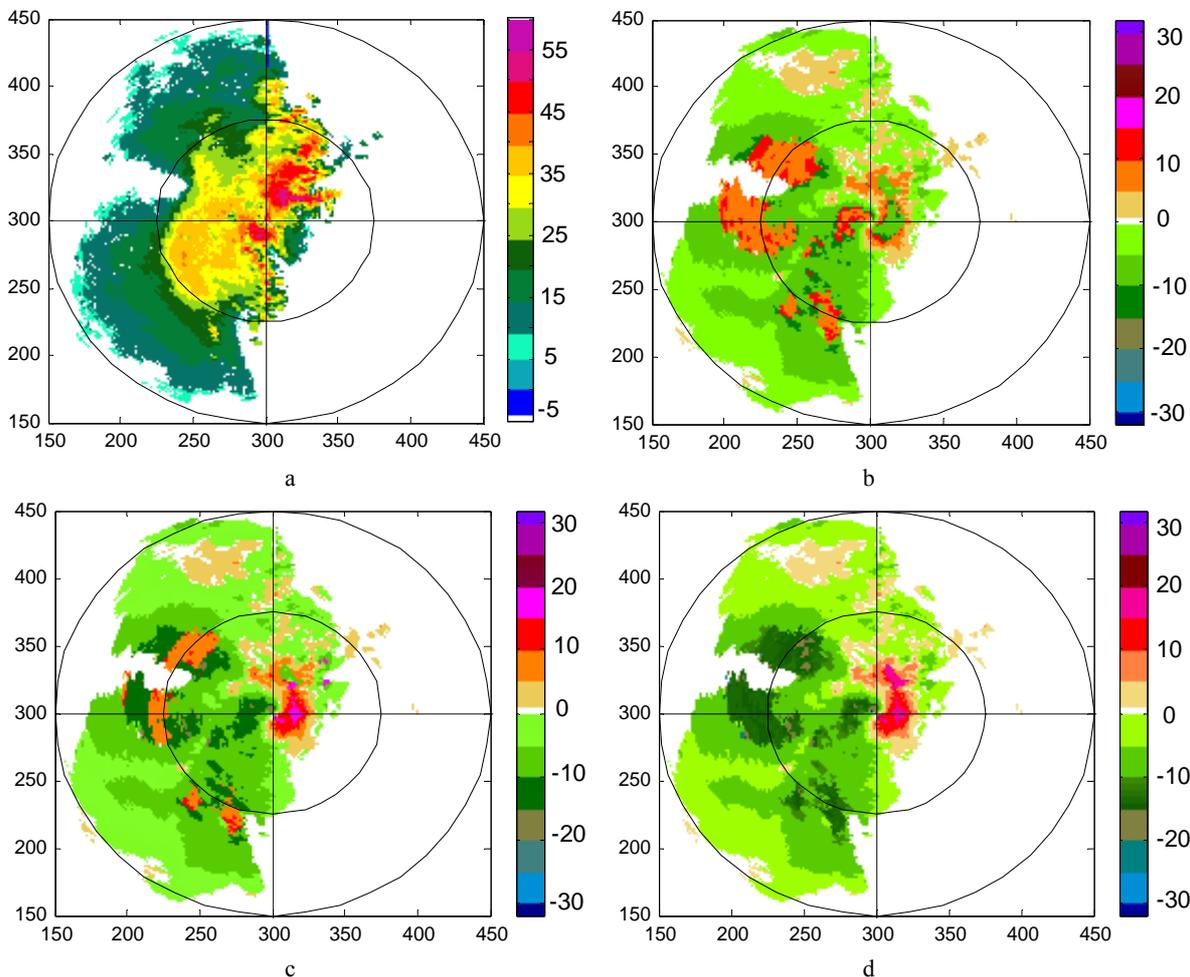


图 2 8 月 25 日 18:31 时点 3.5 度仰角的强度场和径向速度分布 水平和垂直坐标分别表示东西和南北方向，雷达在 (300, 300) 点位置，单位为 km。a. 强度场分布 (色标单位: dBz) ; b. 退模糊之前的径向速度分布 (色标单位: m/s, c, d 图同) ; c. 经过参考风速退模糊以后的径向速度分布 ; d. 最终退模糊结果。

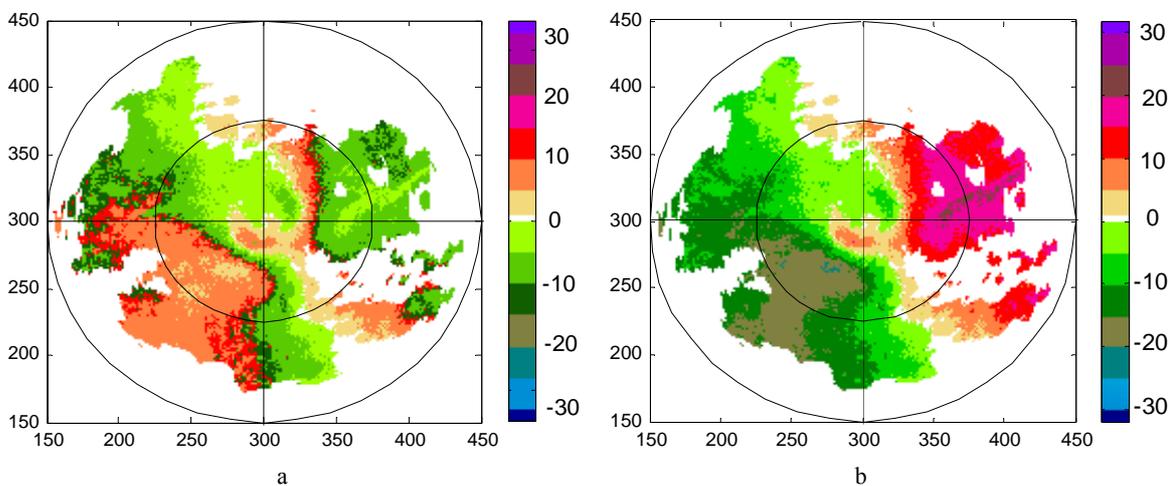


图 5 2005 年 6 月 22 日 09:44 时 2 度仰角的径向风场分布 坐标与图 2 同。a. 退模糊之前 (色标单位: m/s, b 图相同) ; b. 退模糊后。

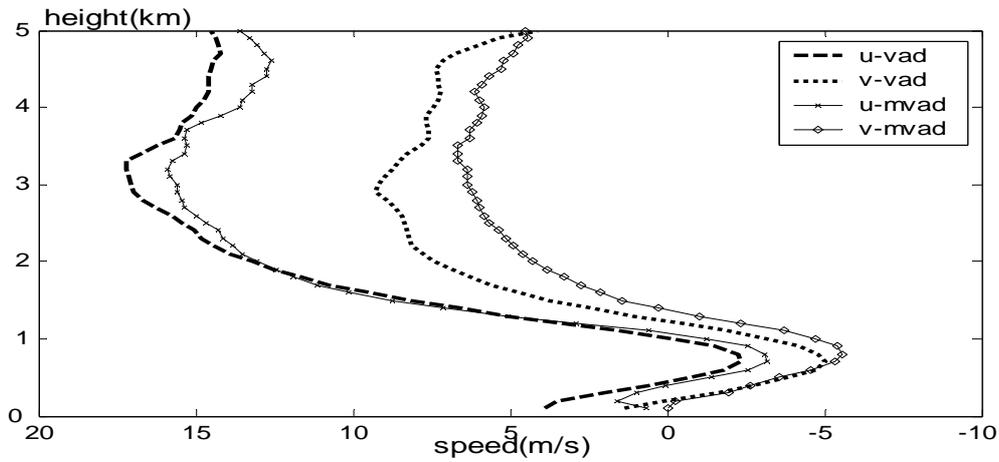


图 6 2005 年 6 月 22 日 MVAD 参考风速与退模糊之后 VAD 结果比较 说明同图 3。

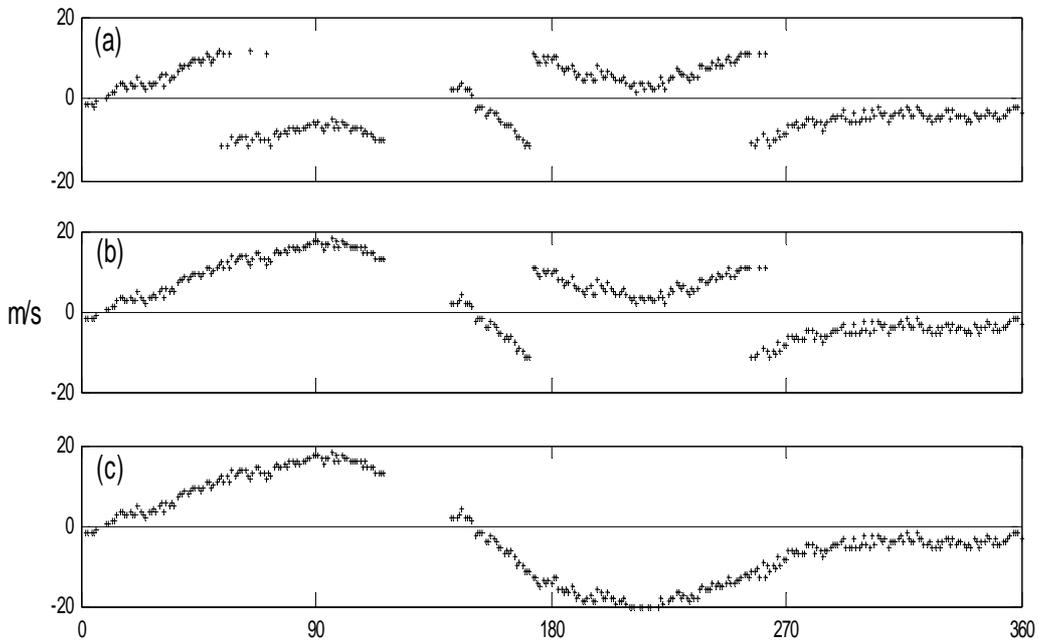


图 7 2005 年 6 月 22 日 2.0 度仰角上距雷达 45 km 的径向速度随方位分布
a. 退模糊之前；b. 参考风退模糊之后；c. 连续性退模糊结果。

通过对以上两个实测雷达资料的退模糊处理，可以看到基于 MVAD 技术的退模糊方法能够比较好地进行退模糊处理。这种方法能够利用本身的多普勒雷达径向风速资料构造参考风场，这是该方法最大的优势。在对风场分布比较均匀的情况下（如个例二），MVAD 方法获得的参考风速具有较高的精度，而在非线性较强的风场中（如个例一），MVAD 方法结果与 VAD 结果较大偏差，这主要由两种方法的差异造成的，即 VAD 方法结果主要依赖于径向风速大值区的贡献，MVAD 方法主要依赖于径向风速的方位梯度大值区的贡献。

5 结论及展望

本文对基于 MVAD 的退模糊方法进行了详细的分析和讨论，并针对其中参考风场的构造问题进行了改进。这种退模糊方法能够有效的利用径向速度方位梯度信息构造参考风场，对在缺少其他参考场或者参考场不匹配的情况下的退模糊处理提供了一种有效的途径。在采样方位覆盖较广，风场非线性不强的情况下，退模糊效果明显。同时，该方法对于缺测方位较大或者存在很强的水平风切变的情况下的效果还不理想，MVAD 方法估计平均风速

的精度也需要进一步提高。多普勒雷达径向风速退模糊处理是一项非常复杂的工作，基于 MVAD 技术的退模糊方法还需要经过大量实际资料的检验，特别是新一代天气雷达资料的检验，进行改进和完善。

参 考 文 献：

- [1] 顾建峰, 薛纪善, 颜宏. 多普勒雷达四维变分分析系统概述[J]. 热带气象学报, 2004, 20(1): 1-13.
- [2] RAY P, ZIEGLER C. De-aliasing first-moment Doppler estimates[J]. J Appl Meteo, 1977, 16(5): 563-564.
- [3] BERGEN W R, ALBERS S C. Two- and three-dimensional dealiasing of Doppler radar velocity[J]. J Atmos And Oceanic Tech, 1988, 5(2): 305-319.
- [4] GAO J D, KELVIN K D. A variational technique for dealiasing Doppler radar velocity data[J]. J Appl meteo, 2004, 43(6): 934-940.
- [5] 梁海河, 张沛源, 葛润生. 多普勒天气雷达风场退模糊方法的研究[J]. 应用气象学报, 2002, 13(5): 591-600.
- [6] TABARY P, SCIALOM G, GERMANN U. Real-time retrieval of the wind from aliased velocities measured by Doppler radars[J]. J Atmos Oceanic technol, 2001, 18(6): 875-882.
- [7] GAO J D, KELVIN K D. A method for retrieving mean horizontal wind profiles from single-Doppler radar observations contaminated by aliasing[J]. Mon wea rev, 2004, 132(6): 1399-1409.
- [8] GÜNTHER H, TOMAS L. Dealiasing of Doppler radar velocities using a torus Mapping[J]. J Atmos Oceanic Technol, 2004, 21(10): 1566-1573.
- [9] GONG J D, WANG L L, QIN XU. A three-step Dealiasing method for Doppler velocity data quality control[J]. J Atmos Oceanic Technol, 2003, 20(12): 1738-1748.

THE IMPROVEMENT OF DEALIASING METHOD FOR DOPPLER VELOCITY DATA BASED ON MVAD

ZHANG Shao-bo, LU Han-cheng, ZHANG Peng, KANG Jian-wei

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

Abstract : This paper improved the method offered by Gong(2003) for dealiasing Doppler Velocity Data based on MVAD (Modified Velocity-Azimuth Display). This method using MVAD estimates the horizontal wind directly from the data contaminated by aliasing on each height, using the wind profile as conference a quick dealiasing can be conducted, The rest contaminated data are dealiased by continuity check. The conference wind gained by The MVAD technology solve the dealiasing start point problem well, but if the real wind field is interfered by meso-or mini-scale system, or on the conditions of complicated sample coverage, it is hard to precisely estimated horizontal wind, this will influence the dealiasing result. Point to this problem this paper introduced the quality control parameter, this parameter can help to solve that problem. Furthermore, some parameter in the method are discussed and adjusted in this paper. And the improved method are checked by dealiasing two real radar data.

Key words: dealiasing; MVAD; VAD; conference wind