



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103149552 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 18

(21) 申请号 201310041840. 8

纠正技术. 《应用气象学报》. 2003, 第 14 卷 (第 5 期), 引言及正文第 1 部分.

(22) 申请日 2013. 02. 04

审查员 王晓东

(73) 专利权人 南京信息工程大学

地址 210044 江苏省南京市宁六路 219 号

(72) 发明人 银燕 楚志刚 顾松山 吴迪

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 许方

(51) Int. Cl.

G01S 7/32(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101017203 A, 2007. 08. 15, 全文.

CN 101706571 A, 2010. 05. 12, 全文.

CN 102385054 A, 2012. 03. 21, 全文.

CN 102508219 A, 2012. 06. 20, 全文.

EP 2290396 A2, 2011. 03. 02, 全文.

刘淑媛等. 一种简易的多普勒雷达速度模糊

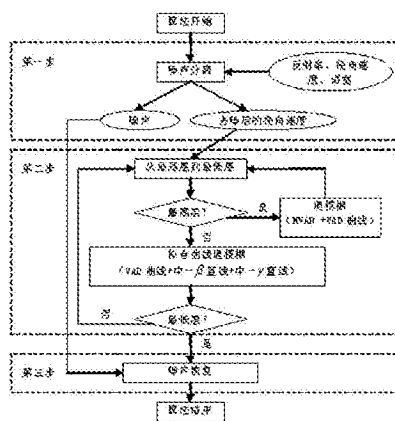
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种多普勒天气雷达径向速度场的退模糊方法

(57) 摘要

本发明公开了一种多普勒天气雷达径向速度场的退模糊方法,属于气象雷达数据质量控制领域。该方法包括如下步骤:第一步,用噪声分离方法将噪声数据从径向速度场中分离出来;第二步,用多曲线拟合的方法退速度模糊;第三步,将第一步中误删除的非噪声数据恢复到原位置。本发明能直接改善天气雷达速度场的质量,间接提升短时临近预报、气象灾害预警、人工影响天气等业务的水平,有较高的应用价值和较好的应用前景。



1. 一种多普勒天气雷达径向速度场的退模糊方法,其特征在于,包括如下步骤:第一步,用噪声分离方法将噪声数据从径向速度场中分离出来;第二步,用多曲线拟合的方法退速度模糊;

具体步骤如下:退模糊顺序在垂直向上从最高仰角到最低仰角,在方位向上是从初始方位起顺时针执行,在径向上是从雷达中心到最远处;退模糊一个点时,首先计算当前位置的参考值,然后依据当前点与参考值的差值,判断当前点是否模糊;如果当前点是模糊的,则恢复它的真实速度值;最后,对当前点进行错误检查;如果当前点未通过错误检查,则认为它是残留噪声,将它分离出来,当前位置用缺测值代替;

其中,退模糊一个点时,最高仰角层的退速度模糊采用沿方位向拟合一条 VAD 曲线和一条 MVAD 曲线,选择标准方差小的一条作为参考曲线;非最高仰角层的退模糊采用已正确校正的不模糊的数据拟合三条曲线作为参考,分别是中- β 直线、长度为 20 ~ 200km,中- α 直线、长度为 2 ~ 20km 和 VAD 曲线;

第三步,将第一步中误删除的非噪声数据恢复到原位置。

一种多普勒天气雷达径向速度场的退模糊方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种多普勒天气雷达径向速度场的退模糊方法,属于气象雷达数据质量控制领域。

背景技术

[0002] 速度场是多普勒天气雷达获取的观测数据之一,它广泛应用于短时临近预报、气象灾害预警、人工影响天气、数值预报模式的资料同化等领域。雷达通过测量相邻脉冲间的相位变化获取径向速度,测速范围为 $(-V_{max}, +V_{max})$, V_{max} 是最大不模糊速度。当真实的速度值超出测速范围时,会折叠到 $(-V_{max}, +V_{max})$ 内,产生错误的速度值,这就是速度模糊。速度模糊是天气雷达广泛存在的一个问题,严重限制了速度场的应用。

[0003] 把测量值恢复成真实值,这被称作速度退模糊。速度退模糊可以通过硬件和软件两种方法来实现。硬件的方法通过双脉冲重复频率或多脉冲重复频率来实现。例如:何平等(2012)提出用多脉冲重复频率 TPRF 法,扩展 V_{max} 的方法。但是,硬件方法存在非均一采样所引起的数据质量下降和现有天气雷达网硬件升级的问题。另外,即使扩展了 V_{max} ,当遇到大风时,如台风、龙卷,仍然会出现模糊。所以,软件方法成了低成本解决这一问题的途径。

[0004] 近三十年来,国内外学者提出了多个软件速度退模糊方法。有沿径向一维的《依据径向数据的连续性判断模糊》、沿切向一维的《依据切向数据的连续性判断模糊》、沿径向和切向二维的、沿径向、切向、垂直、时间四维的方法。这些方法都是在假设速度场是连续的,通过判断速度值的突然变化,来消除模糊。当速度场不连续时,方法会产生错误。退模糊错误分为两种:第一种是模糊数据没有被校正,第二种是不模糊数据变成模糊数据(或模糊数据变成更模糊数据)。后一种错误是退模糊方法的副作用,称之为“污染”。“污染”使退模糊后的速度场更难以理解和应用,也是方法在应用中遇到的最大问题。产生“污染”的主要原因是噪声的干扰。

[0005] 从数据分布来看,噪声分为两种:孤立噪声和连续噪声。当一个噪声点的周围,好点(非噪声点包括缺测点)数大于噪声点数时,该点为孤立噪声;好点数小于等于噪声点数时,该点为连续噪声。两种噪声对退模糊算法的影响和消除的难度是不同的。孤立噪声可以参照周围点的分布特征来消除,所以它对退模糊算法的影响较小。然而,连续噪声的消除是非常困难的,它对算法的影响是严重的。连续噪声通常出现在地物区、低信噪比区和高谱宽区。由于连续噪声会使某一区域内的噪声点数大于好点数,因此,退模糊方法中常用的中值滤波、局部平滑的消除方法对连续噪声不仅无效而且会使其变得更连续。另外,退模糊方法中噪声的消除方法,在消除连续噪声的同时也会误删大量的非噪声点。所以,这类方法在退模糊算法中的应用时是比较谨慎的,它们对连续噪声的抑制能力也比较有限。

[0006] 因此,如何在退模糊过程中有效地抑制噪声,同时又不损失风场信息是解决天气雷达速度模糊问题的关键。

[0007] 发明内容:

[0008] 本发明提出了一种多普勒天气雷达径向速度场的退模糊方法,采用“分离—恢复”无损的噪声抑制技术,可以在不损失任何有效数据的前提下,正确校正速度场中的模糊。

[0009] 本发明为解决其技术问题采用如下技术方案:

[0010] 一种多普勒天气雷达径向速度场的退模糊方法,包括如下步骤:第一步,用噪声分离方法将噪声数据从径向速度场中分离出来;第二步,用多曲线拟合的方法退速度模糊;第三步,将第一步中误删除的非噪声数据恢复到原位置。

[0011] 所述噪声分离方法包括处理地物噪声、低信噪比噪声和高谱宽噪声方法。

[0012] 本发明的有益效果如下:

[0013] 本发明可在无需升级现有雷达硬件的前提下,解决速度模糊的问题。经过3年4站的连续观测数据验证(包括台风、晴空、层云、弱对流、强对流、龙卷等类型模糊),退模糊正确率接近90%(以体扫文件为单位),对台风、强对流的模糊正确率>94%。由于退模糊过程中融合了连续噪声抑制技术,方法性能明显优于传统方法,正确率提升约30%。因此,本发明能直接改善天气雷达速度场的质量,间接提升短时临近预报、气象灾害预警、人工影响天气等业务的水平,有较高的应用价值和较好的应用前景。

附图说明

[0014] 图1是本发明的方法步骤流程图。

[0015] 图2是曲线拟合的所有参与点的示意图。

具体实施方式

[0016] 下面结合附图对本发明创造做进一步详细说明。

[0017] 本发明是一个三维的速度退模糊方法。采用“分离—恢复”噪声的无损抑制方案,由噪声分离、曲线退模糊、噪声恢复三个步骤组成。图1是方法流程图,其中VAD是Velocity Azimuth Display的缩写,是一种沿切向拟合的简谐曲线;MVAD是Modified VAD的缩写,是一种改进的VAD拟合曲线。方法的第一步是噪声分离。设计了三个噪声分离方法,使用严格的阈值把噪声点分离出来。第二步是曲线退模糊。使用三条拟合的曲线的方法,在退模糊过程中进一步抑制残留的噪声,同时用多曲线协调技术适应不同尺度风场。第三步是噪声恢复。第一步分离出来的噪声中包含非噪声点,这一步将噪声逐点恢复到原位置,然后校正误删除的非噪声点的模糊。

[0018] 第一步、噪声分离

[0019] 噪声的产生原因是多方面的,可由地物、低信噪比、气象目标的高脉动(高谱宽)、生物、电磁干扰、距离折叠、超折射、测量误差等引起。有些噪声并非真正意义的噪声,如地物区噪声,而是真实的测量值,但由于其与云雨的径向速度差异较大,因此认为其是噪声。噪声分离由三个分离方法实现,分别用于分离地物区、低信噪比区和高谱宽区的连续噪声。

[0020] 1) 地物区噪声分离

[0021] 地物区噪声较多,尤其是在低仰角的速度场中。定义三个条件:一是回波点所在高度小于阈值 T_{Height} ;二是回波点的强度大于阈值 T_{dBZ} ;三是回波点的径向速度绝对值小于阈值 T_{Vel} 。将满足这三个条件的所有回波点分离出来,相应位置用缺测值代替。

[0022] 2) 低信噪比区噪声分离

[0023] 由于回波功率低,低信噪比区的速度值常常是不可靠的,如远距离回波边缘的速度点。分离低信噪比区的噪声,首先将反射率转换成 SNR(信号噪声比),然后将 SNR 小于信号噪声比阈值 T_{SNR} 的回波点分离出来,相应位置用缺测值代替。

[0024] 3) 高谱宽区噪声分离

[0025] 谱宽表征着目标物径向速度的瞬时脉动。高谱宽说明目标物的速度变化快,有可能是风场的剧烈变化,也可能是受其它信号的干扰。定义谱宽阈值 T_{sw} ,将谱宽值大于阈值 T_{sw} 的回波点分离出来,相应位置用缺测值代替。

[0026] 第二步、曲线退模糊

[0027] 1) 基本流程

[0028] 退模糊顺序在垂直向上从最高仰角到最低仰角,在方位向上是从初始方位起顺时针执行,在径向上是从雷达中心到最远处。退模糊一个点时,首先计算当前位置的参考值(详细描述在后面),然后依据当前点与参考值的差值,判断当前点是否模糊。如果当前点是模糊的,则恢复它的真实速度值。最后,对当前点进行错误检查。如果当前点未通过错误检查,则认为它是残留噪声,将它分离出来,当前位置用缺测值代替。

[0029] 2) 参考值的计算

[0030] 用已正确校正的不模糊的数据拟合三条曲线:沿径向的中- β 直线(中- β 尺度:20 ~ 200km)、中- γ 直线(中- γ 尺度:2 ~ 20km)和 VAD (Velocity Azimuth Display,是一种沿切向拟合的简谐曲线)曲线。三条曲线拟合时使用的数据点见图 2,“EL0”表示当前层;“EL1”表示上一层;箭头指向的“A”点是表示当前点,即当前将要处理的点,“P”点表示当前径向(“A”点所在的径向)上已退模糊的点;“U”点表示在上一层中与“A”点同方位角的径向上的点;“R”点表示在上一层中与“A”点同一高度的点。用“P”点和“U”点在不同距离(尺度)上拟合中- β 直线和中- γ 直线;用“R”点拟合 VAD 曲线。然后,用三条曲线分别计算当前点位置的估计值 ref_{β} 、 ref_{γ} 、 ref_{vad} 。以三个曲线的标准方差 rms_{β} 、 rms_{γ} 、 rms_{vad} 为权重通过公式 3,得到当前点的退模糊参考值 ref 。

[0031]

$$ref = \frac{(rms_{\gamma} + rms_{vad})ref_{\beta} + (rms_{\beta} + rms_{vad})ref_{\gamma} + (rms_{\beta} + rms_{\gamma})ref_{vad}}{2(rms_{\beta} + rms_{\gamma} + rms_{vad})} \quad (3)$$

[0032] 3) 初始层的处理

[0033] 退模糊算法初始时,由于没有有效的参考,所以算法容易出现错误。最高仰角层的是方法的初始层,由于没有上层数据作参考,所以处理方法与其它层不同。退模糊时,沿方位向拟合一条 VAD 曲线和一条 MVAD(Modified VAD)曲线,选择标准方差小的一条作为参考曲线。利用这条参考曲线计算当前点位置的参考值 ref ,依据 ref 恢复当前点的真实速度值并进行更严格的错误检查。经过噪声分离后,最高仰角层的噪声已经大量减少,且最高仰角层的方位向数据率覆盖率比较高。噪声少,方位向数据覆盖率高,这两个条件可以满足 VAD 和 MVAD 的要求。

[0034] 4) 错误检查

[0035] 为了防止退模糊的错误扩散,AND 算法在退模糊一个点后,立即进行错误检查。方法是计算退模糊后的速度值与参考值 ref 的差值,如果差值的绝对值大于阈值 T_{diff} ,则认为当前点是残留噪声,将其分离出来,当前位置用缺测值填补。

[0036] 第三步、噪声恢复

[0037] 噪声恢复是为了保持速度场的原始分布,为后续的有关质量控制、风场反演、资料同化算法提供完整的信息。需要恢复的噪声包括第一步删除的噪声和第二步未通过错误检查的噪声,其中有噪声点也有大量被误删除的非噪声点。噪声点恢复到原位置后,计算这个位置的参考值 ref ,参考值的计算与第二步类似,但参与拟合的数据点更多,要用上、中、下三层的数据。依据 ref ,判断当前点是否是误删除的非噪声点。如果是,则按第二步的方法恢复该点的真实值。如果不是,则该点的值保持不变。另外,值得注意的是恢复后的数据点不再参与后续的拟合曲线的参与点。

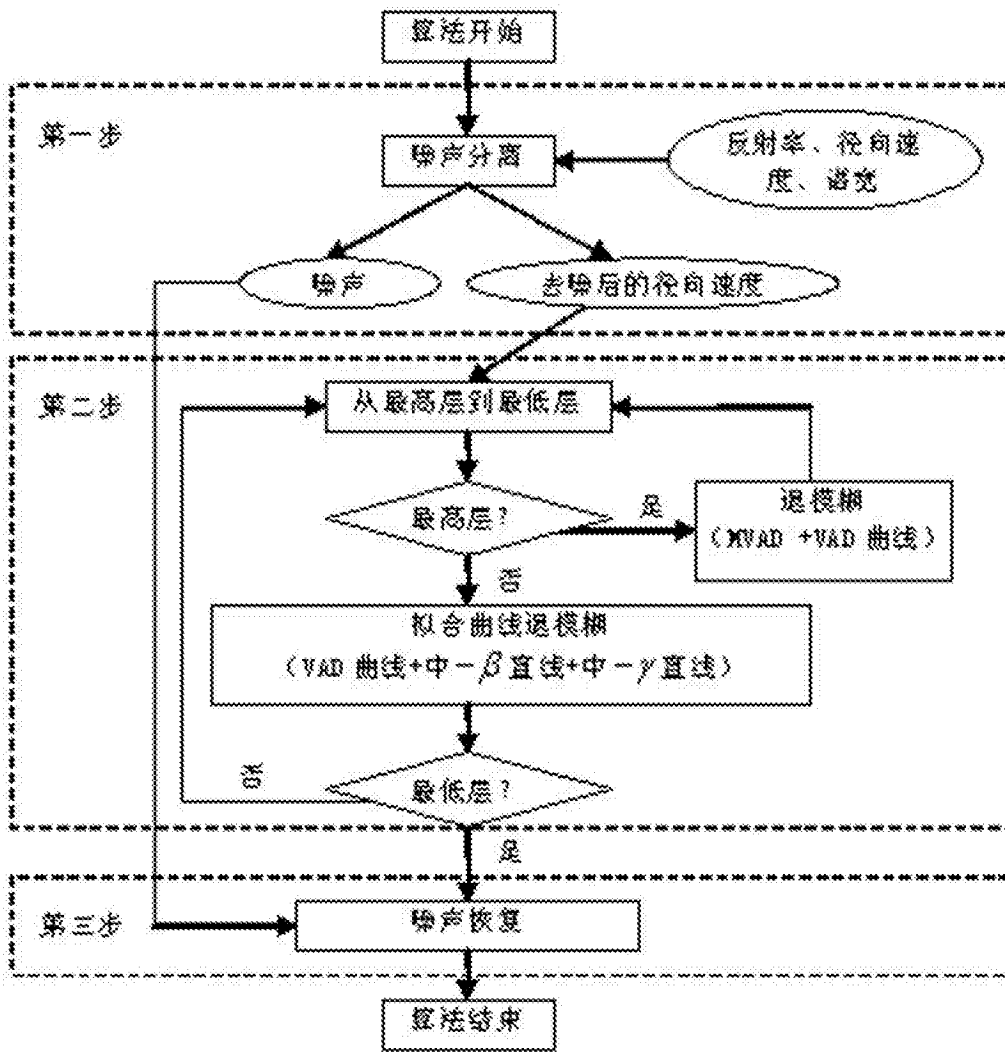


图 1

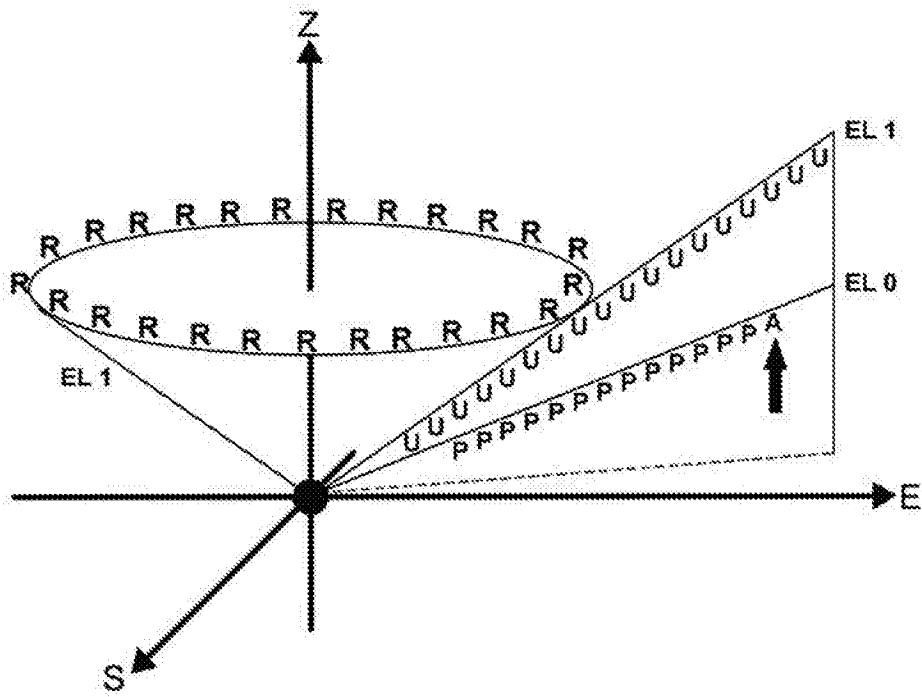


图 2