



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113960552 B

(45) 授权公告日 2024.10.11

(21) 申请号 202111195119.5

G01S 13/95 (2006.01)

(22) 申请日 2021.10.12

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

US 2022065988 A1, 2022.03.03

申请公布号 CN 113960552 A

审查员 吴杏

(43) 申请公布日 2022.01.21

(73) 专利权人 湖北省气象信息与技术保障中心

地址 430074 湖北省武汉市洪山区东湖东路3号

(72) 发明人 程昌玉 严婧 王海军 董丽萍 孙杰

(74) 专利代理机构 武汉东喻专利代理事务所

(普通合伙) 42224

专利代理师 雷霄

(51) Int. Cl.

G01S 7/41 (2006.01)

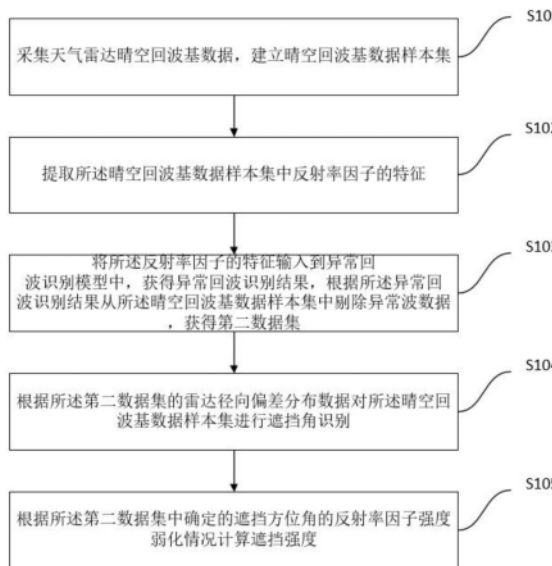
权利要求书2页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法及系统。该方法包括步骤：采集天气雷达晴空回波基数据，建立晴空回波基数据样本集；提取所述晴空回波基数据样本集中反射率因子的特征；将所述反射率因子的特征输入到异常回波识别模型中，获得异常回波识别结果，根据所述异常回波识别结果从所述晴空回波基数据样本集中剔除异常回波数据，获得第二数据集；根据所述第二数据集的雷达径向偏差分布数据对所述晴空回波基数据样本集进行遮挡角识别。本发明可以高精度地定位天气雷达波束遮挡方位。



1. 一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法,其特征在于,包括步骤:  
采集天气雷达晴空回波基数据,建立晴空回波基数据样本集;  
提取所述晴空回波基数据样本集中反射率因子的特征;  
将所述反射率因子的特征输入到异常回波识别模型中,获得异常回波识别结果,根据所述异常回波识别结果从所述晴空回波基数据样本集中剔除异常回波数据,获得第二数据集;  
根据所述第二数据集的雷达径向偏差分布数据对所述晴空回波基数据样本集进行遮挡角识别;  
所述遮挡角识别包括步骤:  
获取所述第二数据集中方位角*i*邻近方位的径向数据差值场;  
计算方位角*i*邻近方位的径向数据差值场的反射率因子中值和上下边界值;  
计算方位角*i*的径向数据的反射率因子中值和下边界值;  
若方位角*i*的反射率因子的中值小于其下边界值,并且方位角*i*邻近方位的径向数据差值场的反射率因子中值不在其上下边界范围值范围内,则判断方位角*i*存在部分遮挡;  
其中,采用四分位法计算得到方位角*i*的反射率因子下边界值及其邻近方位的径向数据差值场的反射率因子上下边界值。
2. 如权利要求1所述的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法,其特征在于,所述反射率因子的特征包括反射率因子强度分布特征和反射率因子水平纹理特征。
3. 如权利要求1所述的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法,其特征在于,所述晴空回波基数据样本集中的每个空间位置均包括时间序列上的多个反射率因子值,先采用中位数方法对每个空间位置时间序列上的多个反射率因子值进行统计,再基于中位数统计获取所述反射率因子的特征。
4. 如权利要求1所述的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法,其特征在于,所述异常回波识别模型为K-means聚类算法模型,所述异常回波识别结果包括地物回波和异常强回波识别结果。
5. 如权利要求1所述的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法,其特征在于,剔除异常回波数据后,对于剔除的异常回波数据所对应的空间位置的反射率因子,用邻近空间位置的反射率因子值进行填充,生成所述第二数据集。
6. 如权利要求1所述的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法,其特征在于,还包括步骤:根据所述第二数据集的雷达径向数据的连续性与否对所述晴空回波基数据样本集进行完全遮挡角识别。
7. 如权利要求1所述的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法,其特征在于,还包括步骤:根据所述第二数据集中确定的遮挡方位角的反射率因子强度弱化情况计算遮挡强度。
8. 一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别系统,其特征在于,包括:  
采集模块,用于采集天气雷达晴空回波基数据,建立晴空回波基数据样本集;  
特征提取模块,用于提取所述晴空回波基数据样本集中反射率因子的特征;  
质量控制模块,用于将所述反射率因子的特征输入到异常回波识别模型中,获得异常回波识别结果,根据所述异常回波识别结果从所述晴空回波基数据样本集中剔除异常回波

数据,获得第二数据集;

遮挡识别模块,用于根据所述第二数据集的雷达径向偏差分布数据对所述晴空回波基数据样本集进行遮挡角识别;

所述遮挡角识别包括步骤:

获取所述第二数据集中方位角 $i$ 邻近方位的径向数据差值场;

计算方位角 $i$ 邻近方位的径向数据差值场的反射率因子中值和上下边界值;

计算方位角 $i$ 的径向数据的反射率因子中值和下边界值;

若方位角 $i$ 的反射率因子的中值小于其下边界值,并且方位角 $i$ 邻近方位的径向数据差值场的反射率因子中值不在其上下边界范围值范围内,则判断方位角 $i$ 存在部分遮挡;

其中,采用四分位法计算得到方位角 $i$ 的反射率因子下边界值及其邻近方位的径向数据差值场的反射率因子上下边界值。

## 一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于天气雷达应用技术领域,更具体地,涉及一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法及系统。

### 背景技术

[0002] 天气雷达作为探测降水系统的主要技术手段之一,在气象监测、预警和气象防灾、减灾工作中扮演着重要角色。地形等障碍造成的雷达波束遮挡问题将导致波束能量衰减,造成雷达探测降水回波强度偏弱。目前,城市化发展、地形等多种因素对天气雷达探测环境产生较大的影响,其造成天气雷达波束遮挡问题已成为雷达定量降水估测(QPE)误差源的重要因子。如何准确的识别遮挡角对地面实况降水信息的监测和预报工作而言,具有较强的实践意义。

[0003] 近年来,国内外识别天气雷达波束遮挡问题已有相当研究,但主要使用数字高程模型(DEM)来识别地形相关的障碍物。由于城市发展(尤其高层建筑物),无法实时的反映在DEM数据中,导致了基于DEM天气雷达波束遮挡的识别精确性较低,影响天气雷达产品数据的应用效果。如何实现天气雷达波束遮挡的自动识别化,快速和高精度的定位波束遮挡方位及造成的影响仍然是一个充满挑战的课题。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术的至少一个缺陷或改进需求,本发明提供了一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法及系统,可以高精度地定位天气雷达波束遮挡方位。

[0005] 为实现上述目的,按照本发明的第一方面,提供了一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法,包括步骤:

[0006] 采集天气雷达晴空回波基数据,建立晴空回波基数据样本集;

[0007] 提取所述晴空回波基数据样本集中反射率因子的特征;

[0008] 将所述反射率因子的特征输入到异常回波识别模型中,获得异常回波识别结果,根据所述异常回波识别结果从所述晴空回波基数据样本集中剔除异常回波数据,获得第二数据集;

[0009] 根据所述第二数据集的雷达径向偏差分布数据对所述晴空回波基数据样本集进行遮挡角识别。

[0010] 优选的,所述反射率因子的特征包括反射率因子强度分布特征和反射率因子水平纹理特征。

[0011] 优选的,所述晴空回波基数据样本集中的每个空间位置均包括时间序列上的多个反射率因子值,先采用中位数方法对每个空间位置时间序列上的多个反射率因子值进行统计,再基于中位数统计获取所述反射率因子的特征。

[0012] 优选的,所述异常回波识别模型为K-means聚类算法模型,所述异常回波识别结果包括地物回波和异常强回波识别结果。

[0013] 优选的,剔除异常回波数据后,对于剔除的异常回波数据所对应的空间位置的反射率因子,用邻近空间位置的反射率因子值进行填充,生成所述第二数据集。

[0014] 优选的,还包括步骤:根据所述第二数据集的雷达径向数据的连续性与否对所述晴空回波基数据样本集进行完全遮挡角识别。

[0015] 优选的,所述遮挡角识别包括步骤:

[0016] 获取所述第二数据集中方位角*i*邻近方位的径向数据差值场;

[0017] 计算方位角*i*邻近方位的径向数据差值场的反射率因子中值和上下边界值;

[0018] 计算方位角*i*的径向数据的反射率因子中值和下边界值;

[0019] 若方位角*i*的反射率因子的中值小于其下边界值,并且方位角*i*邻近方位的径向数据差值场的反射率因子中值不在其上下边界范围值范围内,则判断方位角*i*存在部分遮挡。

[0020] 优选的,采用四分位法计算得到方位角*i*的反射率因子下边界值及其邻近方位的径向数据差值场的反射率因子上下边界值。

[0021] 优选的,还包括步骤:根据所述第二数据集中确定的遮挡方位角的反射率因子强度弱化情况计算遮挡强度。

[0022] 按照本发明的第二方面,提供了一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别系统,包括:

[0023] 采集模块,用于采集天气雷达晴空回波基数据,建立晴空回波基数据样本集;

[0024] 特征提取模块,用于提取所述晴空回波基数据样本集中反射率因子的特征;

[0025] 质量控制模块,用于将所述反射率因子的特征输入到异常回波识别模型中,获得异常回波识别结果,根据所述异常回波识别结果从所述晴空回波基数据样本集中剔除异常回波数据,获得第二数据集;

[0026] 遮挡识别模块,用于根据所述第二数据集的雷达径向偏差分布数据对所述晴空回波基数据样本集进行遮挡角识别。

[0027] 总体而言,本发明与现有技术相比,具有有益效果:

[0028] (1) 本发明的创新之一在于采用天气雷达实际的观测数据识别遮挡角,其好处在于相对于传统基于DEM的遮挡识别技术,更加精确反映城市发展(尤其高层建筑物)造成的天气雷达遮挡问题;

[0029] (2) 本发明的创新之二在于基于天气雷达晴空探测回波,其好处在于该方法不需要出现大范围的均匀性降水过程就可以应用,业务应用实时性很强;

[0030] (3) 本发明的创新之三在于基于统计学进行长时间序列的特征提取,其好处在于可以避免异常回波的干扰,能够刻画常态下的天气雷达遮挡情况。

## 附图说明

[0031] 图1是本发明实施例的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法的流程图;

[0032] 图2是本发明实施例的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法的原理示意图;

[0033] 图3是本发明实施例的反射率因子中位数统计数据PPI分布回波图;

[0034] 图4是本发明实施例的反射率因子强度概率密度分布直方图;

[0035] 图5(a) (b) (c)分别是本发明实施例作为KMeans聚类算法的输入特征图、聚类结果

图以及数据填充图；

[0036] 图6(a)(b)(c)分别是本发明实施例的临近方位相差 $1^{\circ}$ 、 $2^{\circ}$ 、 $3^{\circ}$ 径向数据偏差的概率分布图；

[0037] 图7是本发明实施例的遮挡识别的原理示意图；

[0038] 图8是本发明实施例的遮挡方位角识别结果示意图；

[0039] 图9是本发明实施例的遮挡方位角及强度识别结果示意图。

### 具体实施方式

[0040] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0041] 本发明实施例的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法,通过地面观测降水资料、气象卫星、天气雷达等多源气象资料确定筛选天气雷达观测晴空回波基数据样本。对长时间序列的晴空回波观测资料进行统计,分析天气雷达晴空回波在各仰角上观测值平均态统计值、相关概率分布。采用滑动窗口形式,建立每个格点对应窗口范围内,纹理、均值、标准差等特征值。基于这些特征值,采用非监督学习聚类方法识别、剔除地物回波等干扰信号值。通过建立径向连续性检测、相邻径向偏差检测方法等模型,实现天气雷达观测遮挡角的自动判别。最后,计算得到遮挡造成的平均偏差。

[0042] 图1示出了本发明实施例的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法的流程,图2示出了其原理,该方法包括步骤:

[0043] S101,采集天气雷达晴空回波基数据,建立晴空回波基数据样本集。

[0044] 晴空回波基数据的定义是:若显示某天气雷达探测范围内无降水,则对应雷达基数据为晴空回波基数据。

[0045] 进一步地,S1可包括步骤:

[0046] a) 气象资料的收集。从气象业务系统中收集天气雷达基数据、CMPAS融合降水分析实时数据产品。CMPAS融合降水是中国气象局业务应用的基于气象卫星、天气雷达、地面降水的三源融合降水网格产品。

[0047] b) 建立晴空回波基数据样本集。基本方法为:如果CMPAS融合降水分析产品显示某天气雷达探测范围内无降水,对应雷达基数据为晴空回波基数据。采集大量的晴空回波基数据,建立晴空回波基数据样本集。

[0048] S102,获取所述晴空回波基数据样本集中反射率因子的特征。

[0049] 进一步地,反射率因子的特征具体包括反射率因子强度分布特征和反射率因子水平纹理特征。反射率因子的特征用于后续步骤S103的异常回波识别。

[0050] 进一步地,所述晴空回波基数据样本集中的每个空间位置均包括时间序列上的多个反射率因子值,先采用中位数方法对每个空间位置时间序列上的多个反射率因子值进行统计,再基于中位数统计获取所述反射率因子的特征。

[0051] 采用中位数方法对长时间序列的基数据进行统计,可以避免异常回波出现的极大或极小值影响,提高了中位数对分布数据的代表性。对于天气雷达空间坐标系上任意点P,

其在时间序列上的反射率因子值中位数统计方法如下:

[0052] 将任意点P在时间序列上的反射率因子值记为 $[P_0, P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N-1}, P_N]$ ,  $P_0$ 为时刻0的值,  $P_1$ 为时刻1的值, 以此类推,  $P_N$ 为时刻N的值。

[0053] 将 $[P_0, P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N-1}, P_N]$ 按从小到大的顺序排序为: $[P_{(0)}, P_{(1)}, P_{(2)}, P_{(3)}, \dots, P_{(N-1)}, P_{(N)}]$ 。

[0054] 则P点反射率中位数值 $m_{0.5}$ 为:

$$[0055] \quad m_{0.5} = \frac{P_{(N/2)} + P_{(N/2+1)}}{2}$$

[0056] 后续获取反射率因子的特征, 基于反射率中位数值进行统计。

[0057] (1) 反射率因子的强度分布特征

[0058] 2021年6月某地天气雷达资料(型号SA), 对每个仰角的探测得到的反射率因子在时间上中位数的方式进行统计结果。其反射率因子中位数统计数据PPI分布回波图如图3所示, 反射率因子强度概率密度分布直方图如图4所示。反射率因子的强度概率密度分布符合正态分布, 均值在1dBZ。PPI图上可以看到该地雷达周边存在较强的地物及其他异常回波。

[0059] (2) 反射率因子的水平纹理特征。

[0060] 晴空回波和地物回波的区别不仅仅体现在反射率因子强度上, 两者在反射率因子的水平纹理上也表现出不同特征。记某一个仰角上PPI上方位角i距离j的位置作为格点(i, j), 其反射率因子数据为 $R_{i,j}$ , 对于格点(i, j), 计算以该位置(i, j)为中心 $N_A \times N_R$ 窗口范围内的水平纹理。其计算公式如下:

$$[0061] \quad \text{Texture}(R_{i,j}) = \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} (R_{i',j'} - R_{i',j-1'})^2 / (N_A \times N_R)$$

[0062] 其中,  $\text{Texture}(R_{i,j})$ 表示该格点(i, j)的 $N_A \times N_R$ 窗口范围内的水平纹理特征,  $N_A, N_R$ 表示当前格库为中心参与计算的方位和距离库个数,  $R_{i',j'}$ 、 $R_{i',j-1'}$ 分别为窗口内的 $(i', j')$ 、 $(i', j-1')$ 坐标的回波反射率因子。

[0063] S103, 将所述反射率因子的特征输入到异常回波识别模型中, 获得异常回波识别结果, 根据所述异常回波识别结果从所述晴空回波基数据样本集中剔除异常回波数据, 获得第二数据集。

[0064] 气雷达数据质量受噪声回波、超折射回波、径向电磁干扰等, 因此需要对晴空回波基数据样本集的数据进行质量控制, 剔除异常回波。并且晴空回波和异常回波的反射率因子在特征上有明显差异, 因此可以利用反射率因子的特征进行异常回波识别。

[0065] 异常回波主要包括: 未被滤除地物回波和异常强回波。其中根据晴空回波的统计特征分布, 异常强回波定义为数值超过3倍正态分布标准差(22dBZ), 相邻近位置的数值出现剧烈变化的晴空回波。

[0066] 进一步地, 异常回波识别模型为K-means聚类算法模型。

[0067] K-means聚类是一种无监督学习聚类算法, 常被用于非标签数据的划分聚类。对于数据集 $D\{x_1, x_2, x_3 \dots x_n\}$ 及聚类数目k, 通过迭代处理将数据聚类到各个簇, 使得样本点到各个聚类中心的距离之和最小。

[0068] 从数据样本集D中,随机选择k个数据 $\{a_1, a_2, a_3 \dots, a_k\}$ 作为初始的聚类中心点。

[0069] 计算数据集中每个样本 $x_i$ 和 $a_j(j = 1, 2, 3 \dots k)$ 聚类中心点的距离,然后将 $x_i$ 归类到距离最小的 $d_{ij}$ 所对应的类别。

$$[0070] \quad d_{ij} = \| x_i - a_j \|$$

[0071] 对 $C_j(j = 1, 2, 3, \dots k)$ 中所有的样本点重新计算均值得到新的聚类中心 $u_j$ 。

[0072] 计算每个簇中所有样本点到质心的距离平方和,检测是否收敛,收敛则完成聚类,否则迭代执行步骤(2)、(3)。

$$[0073] \quad J(u_1, u_2, u_3, \dots, u_k) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_i - u_j)^2$$

[0074] 经过聚类操作,输出集合的划分 $C = \{C_1, C_2, C_3 \dots C_k\}$ 及k个聚类中心。

[0075] 在本发明实施例中,K-means聚类的输入数据为步骤S102中获取的反射率因子的特征,具体包括格点 $R_{i,j}$ 的反射率因子强度分布特征、反射率因子水平纹理特征,输出可以有3类:分别是观测缺失值、晴空回波有效值、地物及异常强回波。观测缺失值用于表示因回波信号太弱未能被雷达识别的数据值。从而可以识别出异常强回波数据样本,例如地物回波等,进而根据识别结果从晴空回波基数据样本集中删除异常回波数据样本。

[0076] 对PPI反射率因子数据,如图5(a)所示,计算反射率因子强度的分布特征(例如均值、方差)纹理特征等作为KMeans聚类算法的输入特征,聚类结果如图5(b)所示,黄色区域的数据判别地物及其他异常回波。

[0077] 进一步地,为提高数据统计的准确性,对于剔除的异常回波数据所对应的空间位置的反射率因子,用邻近空间位置的反射率因子值进行填充,填充后的结果如图5(c)所示。

[0078] S104,根据所述第二数据集的雷达径向偏差分布数据对所述晴空回波基数据样本集进行遮挡角识别。

[0079] 研究表明雷达波束遮挡问题导致波束能量衰减,造成雷达探测回波强度偏弱当存在雷达波束遮挡时,在邻近天气方位间的雷达探测径向数据与非遮挡区域会存在偏差。

[0080] 记某一个仰角上PPI上方位角i距离j的位置上的反射率因子数据为 $R_{i,j}$ 。本发明实施例中选择对天气雷达方位上相差 $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $3^\circ$ 的径向数据进行偏差统计,其特征如图6所示。从分布看可知,径向数据大致也是符合正态分布,相邻方位间的数据偏差的均值接近为0。

[0081] 因此,根据雷达径向偏差分布数据进行的遮挡角识别,主要是部分遮挡角识别。

[0082] 进一步地,所述遮挡角识别概括起来,包括步骤:

[0083] (1) 获取所述第二数据集中方位角i邻近方位的径向数据差值场;

[0084] (2) 计算方位角i邻近方位的径向数据差值场的反射率因子中值和上下边界值;

[0085] (3) 计算方位角i的径向数据的反射率因子中值和下边界值;

[0086] (4) 若方位角i的反射率因子的中值小于其下边界值,并且方位角i邻近方位的径向数据差值场的反射率因子中值不在其上下边界范围值范围内,则判断方位角i存在部分

遮挡。

[0087] 可以采用上述方法对每一个方位角进行识别。

[0088] 进一步地,计算方位角*i*的反射率因子下边界值及其邻近方位的径向数据差值场的反射率因子上下边界值是采用四分位法计算得到的。

[0089] 四分位法可视为标准差法的一种改进,它使用中位数和标准四分位间距分别代替传统统计方法中的均值和标准差,作为对数据总体的估计其依靠实际数据,不需要事先假定数据服从特定的分布形式,可以真实直观地表现数据的本来特征。

[0090] 四分位法的采用数据量*N*、下四分位 $Q_1$ 、上四分位 $Q_3$ 、四分位间距(**IQR**)等统计量来描述数据的整体分布情况。通过计算这些统计量,计算得到可信数据的上边界和下边界。计算公式如下:

$$[0091] \quad U_{lim} = Q_3 + 1.5 \times IQR$$

$$[0092] \quad L_{lim} = Q_1 - 1.5 \times IQR$$

[0093] 其中, $U_{lim}$ 、 $L_{lim}$ 分别表示数据上下限,**IQR**为上四分位数 $Q_3$ 与下四分位数 $Q_1$ 的差,即**IQR** =  $Q_3 - Q_1$ ,反映数据的离散程度。

[0094] 下面将方位角*i*邻近方位具体取相差 $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $3^\circ$ 径向数据差值场,来具体说明遮挡角识别的流程,如图7所示,具体包括步骤:

[0095] a) 获取经过步骤S103处理后的第二数据集中的邻近方位相差 $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $3^\circ$ 径向数据差值场,将方位角*i*距离*j*邻近方位相差 $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $3^\circ$ 径向数据差值场分别记为**R1(i,j)**、**R2(i,j)**、**R3(i,j)**。

[0096] b) 分别对**R1(i,j)**、**R2(i,j)**、**R3(i,j)**数据按从小到大进行排序,获取**R1(i,j)**、**R2(i,j)**、**R3(i,j)**数据场对应的下四分位分别记为**R1\_Q1**、**R2\_Q1**、**R3\_Q1**、上四分位分别记为**R1\_Q3**、**R2\_Q3**、**R3\_Q3**数值。

[0097] c) 根据b的结果计算**R1(i,j)**、**R2(i,j)**、**R3(i,j)**四分位间距,记**R1(i,j)**的四分位间距为**R1\_IQR**,记**R2(i,j)**的四分位间距为**R2\_IQR**,记**R3(i,j)**的四分位间距为**R3\_IQR**。

[0098] d) 根据b和c的结果,计算**R1(i,j)**、**R2(i,j)**、**R3(i,j)**的四分位数法上下限。记**R1(i,j)**径向的四分位数法上下限分别为**U<sub>lim\_1</sub>**、**L<sub>lim\_1</sub>**,记**R2(i,j)**差值场径向的四分位数法上下限分别为**U<sub>lim\_2</sub>**、**L<sub>lim\_2</sub>**,记**R3(i,j)**差值场径向的四分位数法上下限分别为**U<sub>lim\_3</sub>**、**L<sub>lim\_3</sub>**。

[0099] e) 对**R1(i,j)**、**R2(i,j)**、**R3(i,j)**,每个径向的数据进行平均取中值。记**R1(i,j)**径向的数据中值为**R1<sub>M</sub>(i)**,记**R2(i,j)**径向的数据中值为**R2<sub>M</sub>(i)**,记**R3(i,j)**径向的数据中值为**R3<sub>M</sub>(i)**。

[0100] f) 逐径向利用偏差法进行部分遮挡判别。**R1<sub>M</sub>(i)**、**R2<sub>M</sub>(i)**、**R3<sub>M</sub>(i)**任意一个不在对应的四分位数上下限范围内,即**R1<sub>M</sub>(i) > U<sub>lim\_1</sub>**或 **R1<sub>M</sub>(i) < L<sub>lim\_1</sub>**或**R2<sub>M</sub>(i) > U<sub>lim\_2</sub>**或 **R2<sub>M</sub>(i) < L<sub>lim\_2</sub>**或**R3<sub>M</sub>(i) > U<sub>lim\_3</sub>**或 **R3<sub>M</sub>(i) < L<sub>lim\_3</sub>**。

(i)  $\langle L_{lim\_2}$  或  $R_{3_M}(i) \rangle U_{lim\_3}$  或  $R_{3_M}(i) \langle L_{lim\_3}$ , 判别径向方位角  $i$  为部分遮挡。

[0101] g) 反射率强度进行部分遮挡判别。获取经过步骤S103质量控制后的反射率因子的四分位数法上下限和每个径向的数据中值, 将方位角  $i$  的数据中值为  $Rd_M(i)$ , 记  $L_{lim\_Rd}$  的  $Rd$  数据的四分位数法下限。

[0102] h) 逐径向利用反射率因子强度进行部分遮挡判别。如果数据中值为  $Rd_M(i)$  小于  $L_{lim\_Rd}$ , 判别径向方位角  $i$  为部分遮挡。

[0103] i) 将步骤f、h识别结果, 去并集得到最终结果, 如图8所示。

[0104] 进一步地, 还可以根据雷达径向上的数据连续性判断是否为完全遮挡识别。完全遮挡是指径向上没连续有效值超10km。

[0105] 进一步地, 完全遮挡识别包括步骤:

[0106] (1) 对于一个径向数据序列, 若其存在NAN(空)值, 则进入步骤(2), 否则判别为非完全遮挡;

[0107] (2) 根据NAN值所在的位置, 将径向数据序列分为若干个非NAN的子数据块。

[0108] (3) 如果这些子数据块的最大距离长度小于设定阈值, 该径向被判别为完全遮挡; 否则判别为非完全遮挡。

[0109] 进一步地, 本发明实施例的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别方法, 还包括步骤S105: 根据所述第二数据集中确定的遮挡方位角的反射率因子强度弱化情况计算遮挡强度。

[0110] 为进一步研究遮挡造成的天气雷达电磁波衰减的程度, 采用径向中值平均衰减偏差的方法来反映遮挡方位角的反射率因子强度上的偏弱情况。对于某一个方位  $i_0$ , 其平均偏差计算方法如下:

$$[0111] \quad \text{bias}(i_0) = \text{Mean}(R_{i_0,j}) - \text{Mean}(R'_{k,j})$$

$$[0112] \quad k = i_0 - N \sim i_0 + N, \quad j = 0 \sim \text{Range}_{\max}$$

[0113] 式中  $R_{i_0,j}$  表示当前方位  $i_0$  的径向数据,  $R'_{k,j}$  表示方位  $i_0$  邻近的  $k$  方位的雷达径向数据 (剔除遮挡方位),  $k$  的取值范围为  $i - N$  到  $i + N$ ,  $R'_{k,j}$  ( $k = i - N \sim i + N$ ) 即表示方位  $i$  邻近的  $2N$  个方位的雷达径向数据 (剔除遮挡方位) 后的数据,  $\text{bias}(i_0)$  表示方位  $i$  的反射率因子强度偏弱程度,  $\text{Mean}(R_{i_0,j})$  表示方位  $i_0$  上的平均值,  $\text{Mean}(R'_{k,j})$  表示  $i_0$  邻近的  $2N$  个方位观测数据的平均值。反射率强度偏差, 如图9所示。在雷达的  $0 \sim 90$  度, 遮挡较少, 在  $43$  和  $79^\circ$  附近偏差  $2.7 \text{dBZ}$ 。

[0114] 如图9所示, 可以看出明显东南、正南、西南、西北方均遮挡不同程度的遮挡, 其中,  $111^\circ \sim 112^\circ$ 、 $199^\circ \sim 200^\circ$ 、 $252^\circ \sim 254^\circ$  方位为完全遮挡区域。受到地物遮,  $107^\circ \sim 121^\circ$  方位、 $156^\circ \sim 182^\circ$  方位、 $193^\circ \sim 209^\circ$ 、 $251^\circ \sim 260^\circ$  方位的部分遮挡的观测值偏弱最大达  $-8 \text{dBZ}$ 、 $-10 \text{dBZ}$ 、 $-11 \text{dBZ}$ 、 $-8 \text{dBZ}$ 。

[0115] 本发明实施例的一种基于晴空回波的天气雷达遮挡角识别系统, 包括:

[0116] 采集模块, 用于采集天气雷达晴空回波基数据, 建立晴空回波基数据样本集;

[0117] 特征提取模块,用于提取所述晴空回波基数据样本集中反射率因子的特征;

[0118] 质量控制模块,用于将所述反射率因子的特征输入到异常回波识别模型中,获得异常回波识别结果,根据所述异常回波识别结果从所述晴空回波基数据样本集中剔除异常回波数据,获得第二数据集;

[0119] 遮挡识别模块,用于根据所述第二数据集的雷达径向偏差分布数据对所述晴空回波基数据样本集进行遮挡角识别。

[0120] 进一步地,遮挡识别模块,还用于根据所述第二数据集的雷达径向偏差分布数据对所述晴空回波基数据样本集进行遮挡角识别。

[0121] 系统的实现原理、技术效果与上述方法类似,此处不再赘述。

[0122] 必须说明的是,上述任一实施例中,方法并不必然按照序号顺序依次执行,只要从执行逻辑中不能推定必然按某一顺序执行,则意味着可以以其他任何可能的顺序执行。

[0123] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

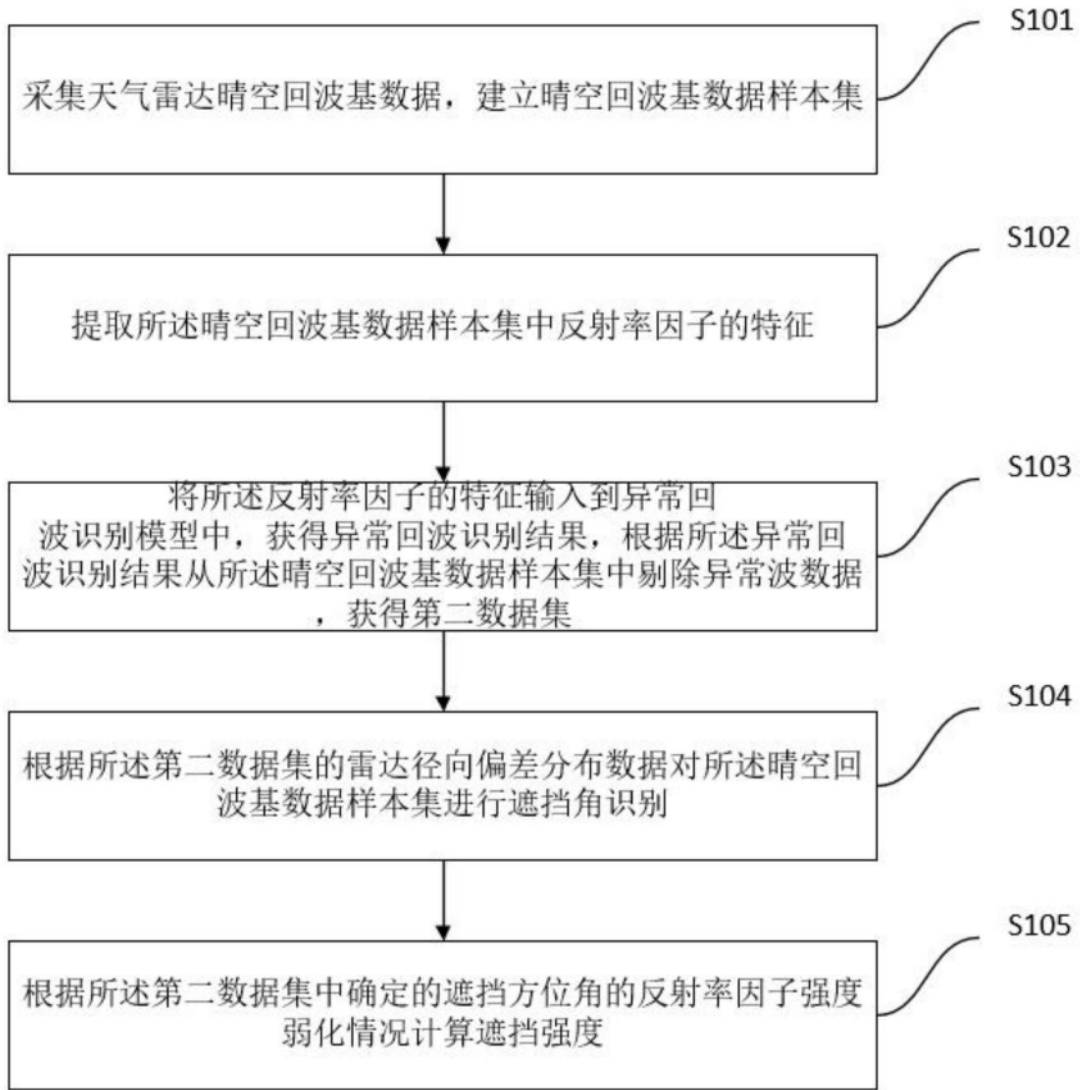


图1

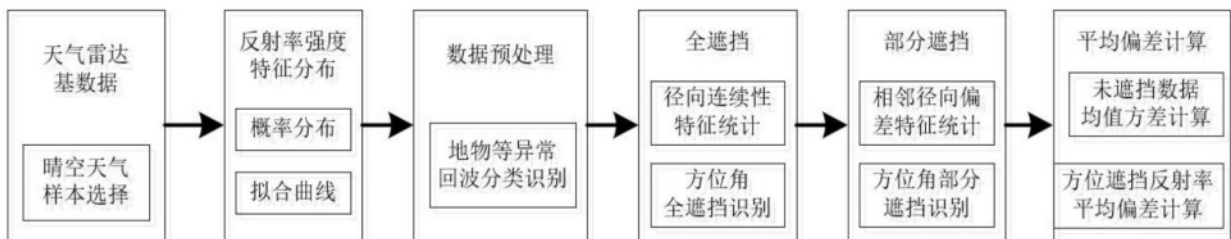


图2

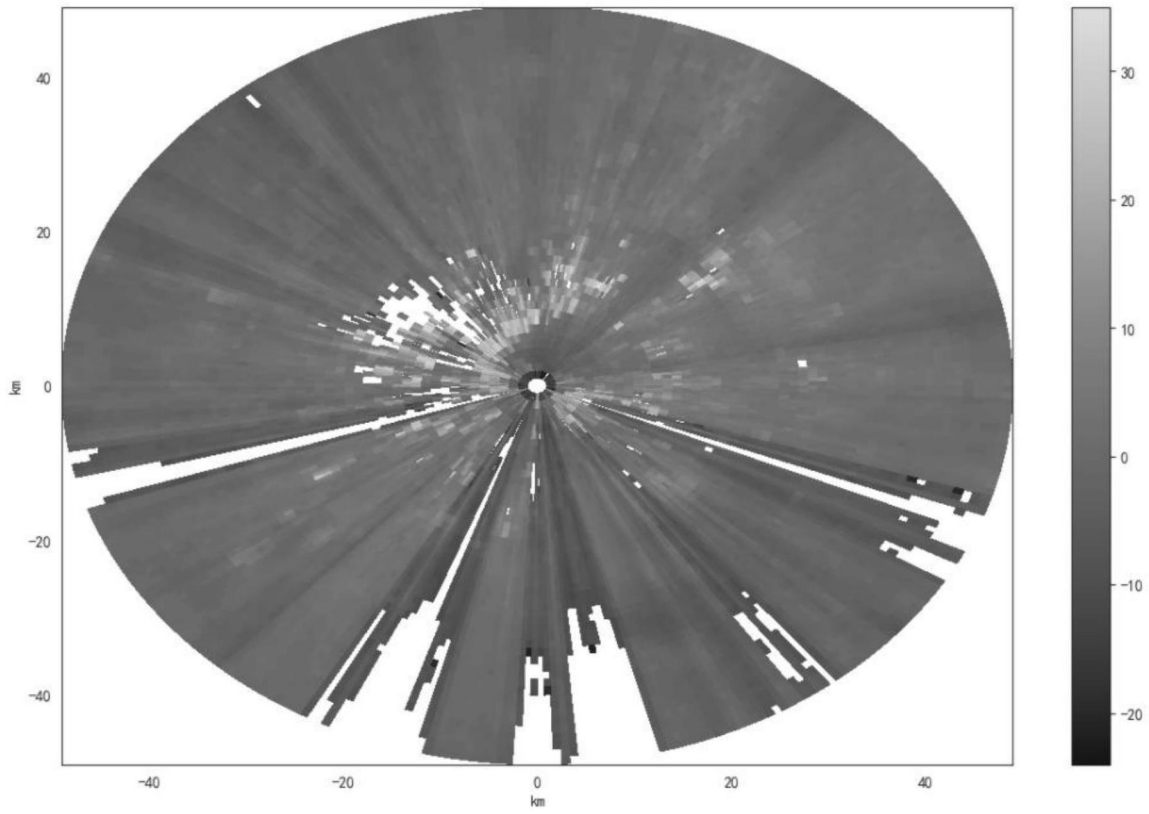


图3

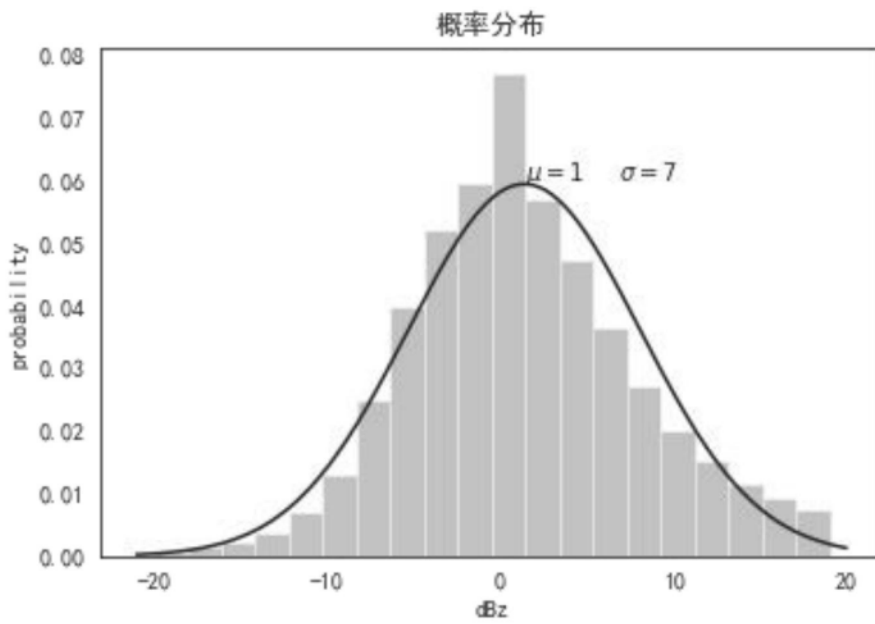
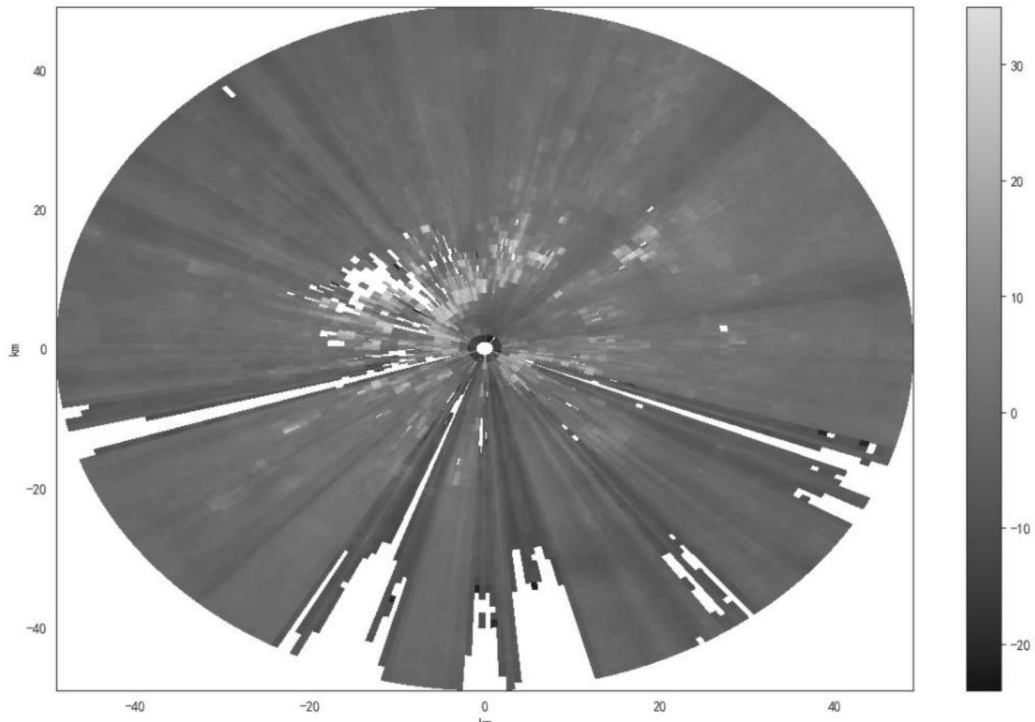
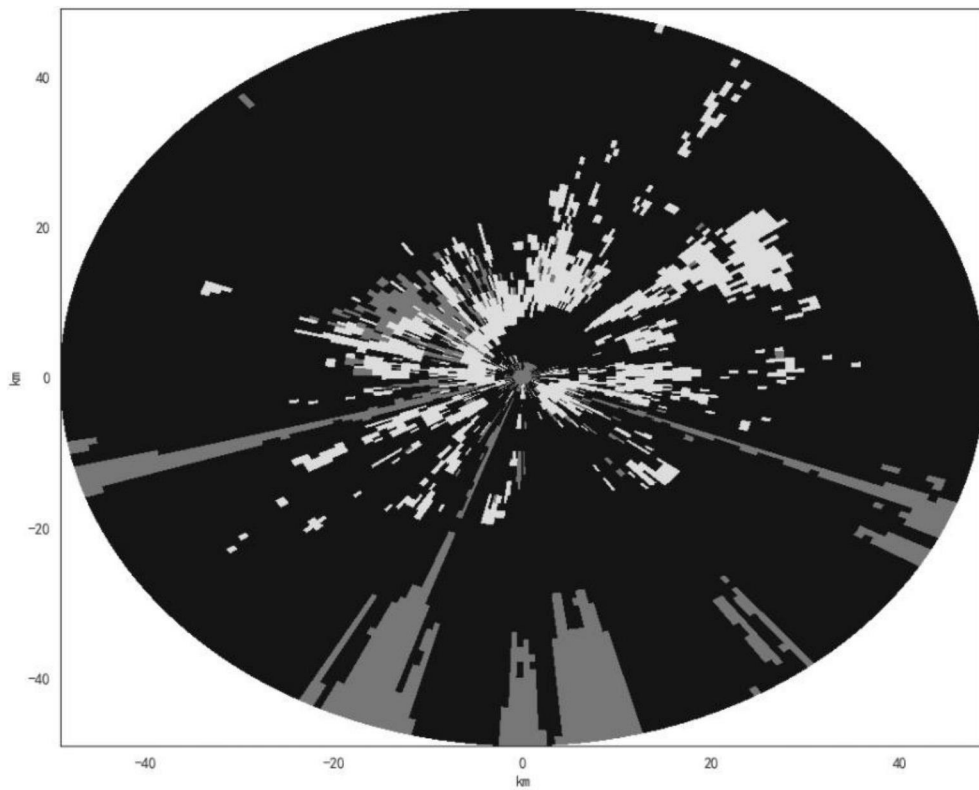


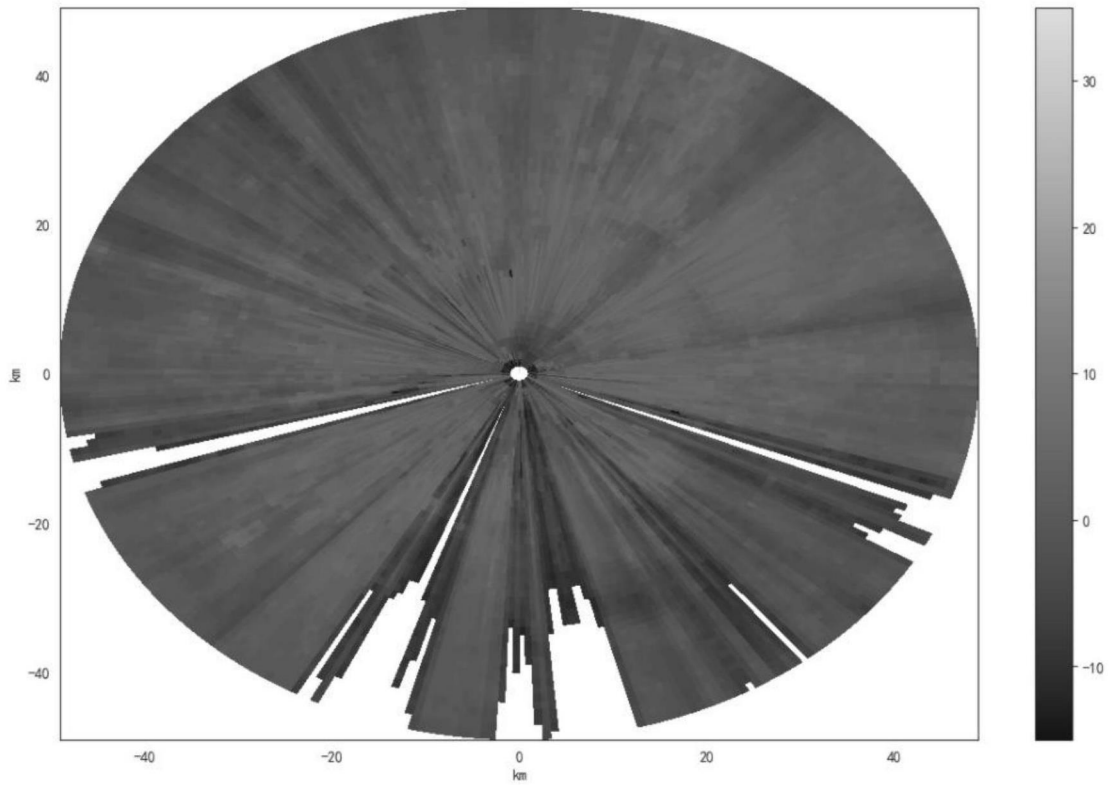
图4



(a)

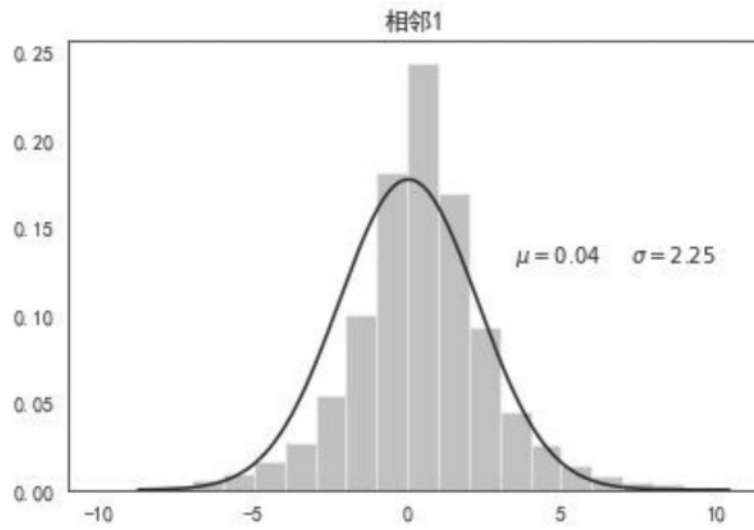


(b)

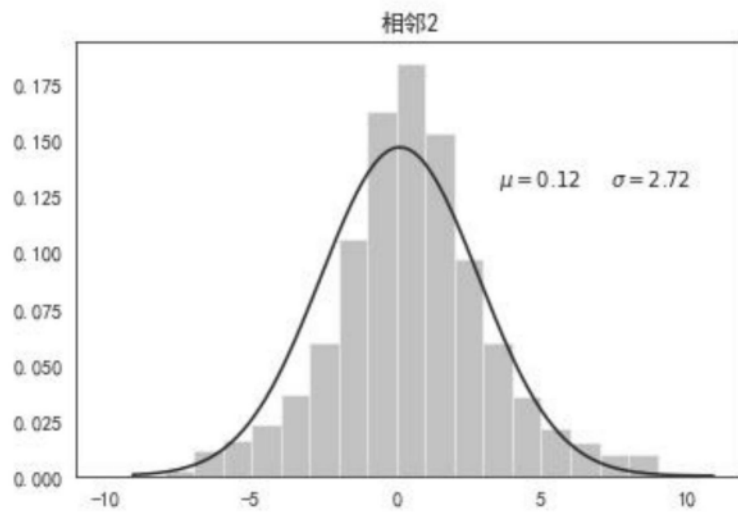


(c)

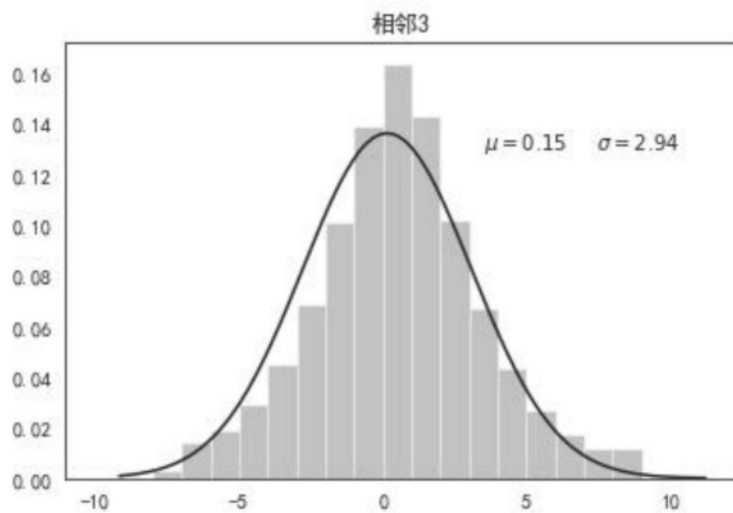
图5



(a)



(b)



(c)

图6

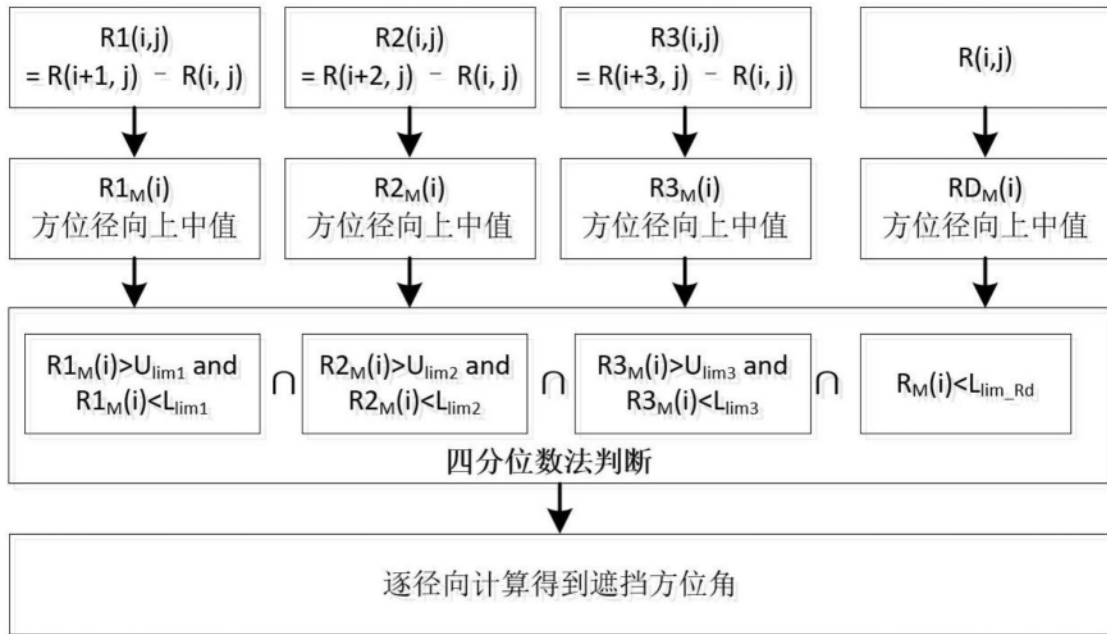


图7

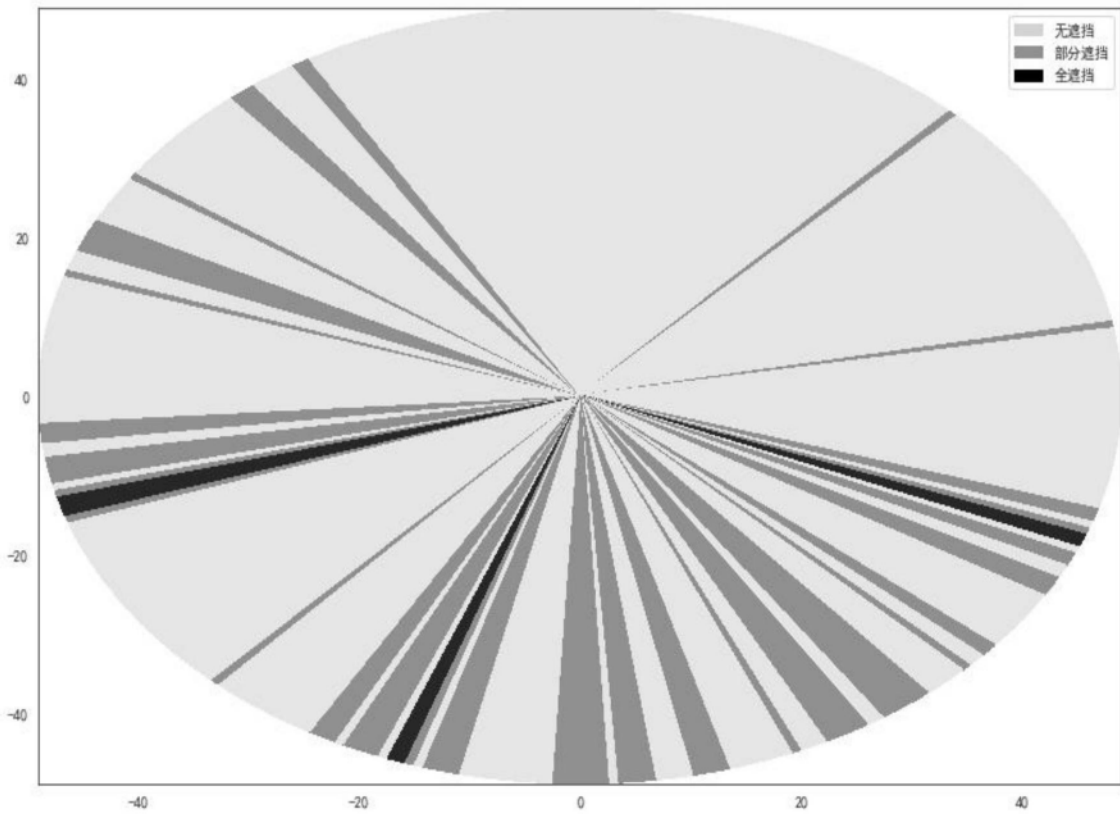


图8

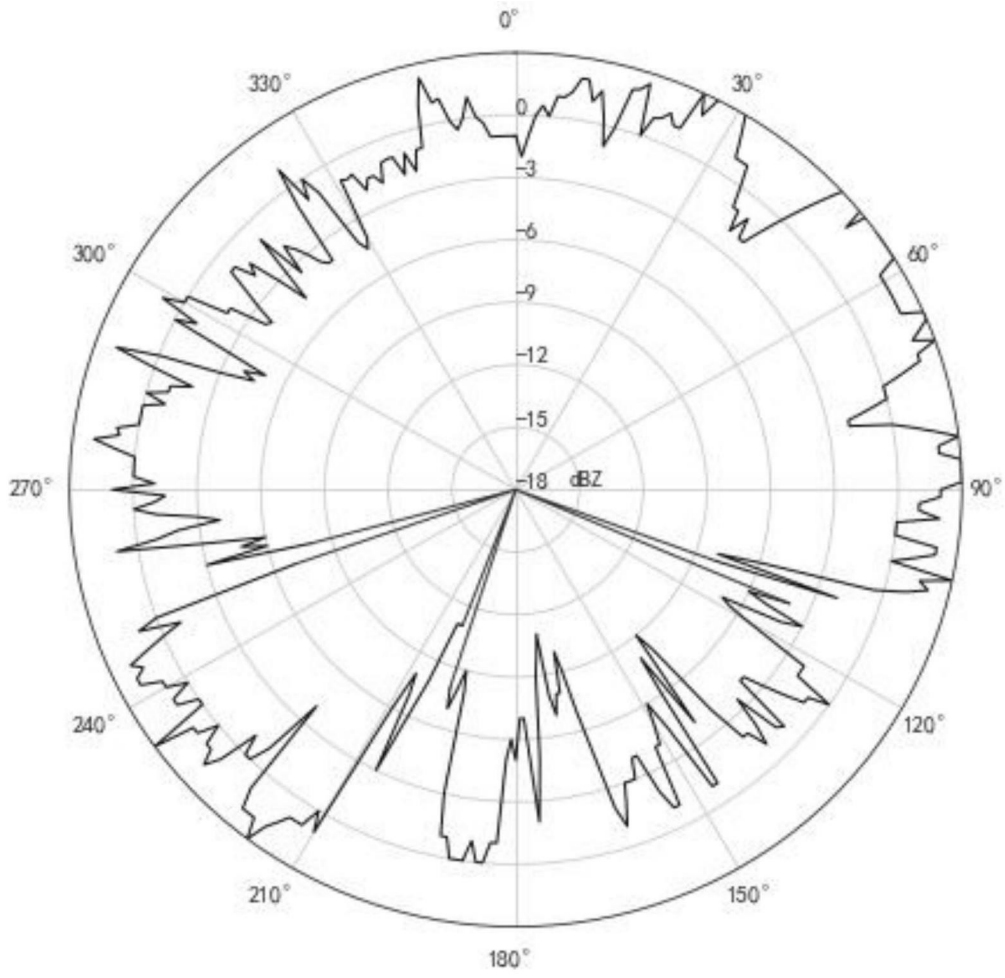


图9