



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112051576 A

(43) 申请公布日 2020. 12. 08

(21) 申请号 202010899066.4

G06N 3/04 (2006.01)

(22) 申请日 2020.08.31

(71) 申请人 江苏微之润智能技术有限公司

地址 214000 江苏省无锡市江阴市澄江中  
路159号高新区D座4楼

(72) 发明人 陈健 邹明忠 吴浩楠

(74) 专利代理机构 无锡松禾知识产权代理事务  
所(普通合伙) 32316

代理人 朱亮淞

(51) Int. Cl.

G01S 13/95 (2006.01)

G01S 7/41 (2006.01)

G01W 1/10 (2006.01)

G06F 30/27 (2020.01)

G06N 3/08 (2006.01)

权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种智能多频微波降雨监测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种覆盖面广、各降雨等级监测精度高且建设成本较低的智能多频微波降雨监测方法,采用多频微波设备,设备可发送和接收多个微波频段;采用多个频段与各雨强等级的单独模型训练,反演出不同雨强等级下的最优监测频段;通过雨强智能预识别后,系统选择对应雨强等级的最优监测频段进行降雨数据反演;多频微波系统在各雨强下的应用更为灵活,反演精度更高。



1. 一种智能多频微波降雨监测方法,其特征在于:包括以下步骤,

S1,针对降雨的6个强度等级,分别按照 $\alpha$ GHz的频段间隔来选取实验样本频段,建立样本数据库;

S2,对每一个降雨强度下的各频段微波雨衰进行分析,选出强相关性的微波频段 $f_n$ , $n$ 表示降雨等级,为1-6中的任一整数;

S3,针对每个降雨强度等级,在 $(f_n-\alpha, f_n+\alpha)$ 的频率区间内,进行多次迭代,得到最优频段 $f'_n$ ,从而建立最优监测频段下的独立反演模型M1;

S4,将多个降雨强度等级下的各最优监测频段 $f_n$ 进行融合建模,训练为一体化反演模型M2,并根据反演的结果对各微波频段 $f_n$ 的权重因子进行赋值,然后再次进行模型训练及校正,得到雨强智能识别模型M3;

S5,利用雨强智能识别模型M3对监测区域的雨强进行智能预识别,根据雨强识别结果,选择对应的监测频段,反演出高精度的降雨监测数据。

2. 根据权利要求1所述的智能多频微波降雨监测方法,其特征在于:S1中实验样本的频段选择范围为3GHz~50GHz。

3. 根据权利要求2所述的智能多频微波降雨监测方法,其特征在于: $\alpha$ 取值范围为0.5~1.5。

4. 采用权利要求1所述的智能多频微波降雨监测方法的监测系统,其特征在于:监测系统包括若干个联合组网的微波站点;所述微波站点依托铁塔基站或高楼建筑平台设立。

5. 根据权利要求4所述的采用智能多频微波降雨监测方法的监测系统,其特征在于:所述微波站点设备的射频前端采用多频段PA、LNA结构和多频天线。

## 一种智能多频微波降雨监测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及水利水文监测及气象监测领域,尤其涉及一种智能多频微波降雨监测方法。

### 背景技术

[0002] 降雨监测对于气象播报、农业生产、预防自然灾害等方面都具有极大意义。目前常用的监测方法包括:自动观测站、测雨雷达、卫星遥感和单频微波降雨监测系统。

[0003] 降雨自动观测站是按照监测降雨信息的要求,对降雨量信息进行采集、处理、存储和传输的观测设备。自动观测站的建设首先需要进行观测站点的选址,然后进行观测站的建设,在投入运行后需要进行周期性的维护和巡检,保障监测站设备的正常运行。自动观测站承担单点及多点的降雨监测任务,但新增站点成本高,且站点的建设耗时长。如新增监测点任务时,经济和时间成本均较高。自动监测站不易大规模推广,只适合少量的单点建设。

[0004] 测雨雷达探测一定空间范围内的降水强度分布和总降水量。该雷达是一种脉冲雷达,以一定的频率发射脉冲波,再接收被降水粒子散射回来的回波脉冲,在降水回波功率和降水强度之间进行模型反演,得出降雨相关数据的反演结果。大型测雨雷达的覆盖范围可达几百公里,小型测雨雷达的覆盖范围可能只有几十公里。测雨雷达在空旷环境下测试效果较好,但在城区环境或者其他复杂地形环境下测量精度易受影响,且存在覆盖盲区。测雨雷达的建设选址要求较高,无法灵活补点,同样无法快速入网运行。

[0005] 卫星遥感是承担全球的降雨监测任务。其应用了辐射测量等技术,通过科学算法反演出能够准确反映降雨相关数据。卫星搭载微波辐射仪等遥感器,接收和测量地球及其大气层微波辐射,并将信号传送给卫星地面站进行反演,得出所需观测的降雨数据。但卫星遥感在中高纬度及复杂地形(城市、山区等)的反演精度差。在某些点或者面的区域,卫星遥感数据精度也不高,需要其他降雨数据源对其进行补充或修正。

[0006] 基于微波传输过程中雨衰反演算法,建立微波降雨的监测系统。微波系统采用单频发射及单频接收,微波频率固定。该系统采用单个微波频段进行样本采集、数据训练及模型反演,最后输出一个相对精度较高的反演模型。现降雨等级分为6级:小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨、特大暴雨。仅依靠单一频段的样本数据进行建模训练,在不同雨强等级下的反演精度一致性较差。在某些雨强等级下的反演精度高,其他雨强等级下的反演精度差。

[0007] 所以有必要发明一种覆盖面广、各降雨等级监测精度高且建设成本较低的智能多频微波降雨监测方法。

### 发明内容

[0008] 发明目的:为了克服现有技术中存在的不足,本发明提供一种覆盖面广、各降雨等级监测精度高且建设成本较低的智能多频微波降雨监测方法。

[0009] 技术方案:为实现上述目的,本发明的一种智能多频微波降雨监测方法,包括以下步骤,

[0010] S1,针对降雨的6个强度等级,分别按照 $\alpha$ GHz的频段间隔来选取实验样本频段,建立样本数据库;

[0011] S2,对每一个降雨强度下的各频段微波雨衰进行分析,选出强相关性的微波频段 $f_n$ , $n$ 表示降雨等级,为1-6中的任一整数;

[0012] S3,针对每个降雨强度等级,在 $(f_n-\alpha, f_n+\alpha)$ 的频率区间内,进行多次迭代,得到最优频段 $f'_n$ ,从而建立最优监测频段下的独立反演模型M1;

[0013] S4,将多个降雨强度等级下的各最优监测频段 $f_n$ 进行融合建模,训练为一体化反演模型M2,并根据反演的结果对各微波频段 $f_n$ 的权重因子进行赋值,然后再次进行模型训练及校正,得到雨强智能识别模型M3;

[0014] S5,利用雨强智能识别模型M3对监测区域的雨强进行智能预识别,根据雨强识别结果,选择对应的监测频段,反演出高精度的降雨监测数据。

[0015] 进一步地,S1中实验样本的频段选择范围为3GHz~50GHz。

[0016] 进一步地, $\alpha$ 取值范围为0.5~1.5。

[0017] 进一步地,监测系统包括若干个联合组网的微波站点;所述微波站点依托铁塔基站或高楼建筑平台设立。

[0018] 进一步地,所述微波站点设备的射频前端采用多频段PA、LNA结构和多频天线。

[0019] 有益效果:本发明的一种覆盖面广、各降雨等级监测精度高且建设成本较低的智能多频微波降雨监测方法,采用多频微波设备,设备可发送和接收多个微波频段;采用多个频段与各雨强等级的单独模型训练,反演出不同雨强等级下的最优监测频段;通过雨强智能预识别后,系统选择对应雨强等级的最优监测频段进行降雨数据反演;多频微波系统在各雨强下的应用更为灵活,反演精度更高。

## 附图说明

[0020] 图1为数据微波雨衰与降雨强度关联性建立分析步骤图;

[0021] 图2为最优监测频段选择步骤图;

[0022] 图3为数据训练及建模原理示意图;

[0023] 图4为智能降雨反演步骤示意图;

[0024] 图5为跳频原理示意图。

## 具体实施方式

[0025] 下面结合附图对本发明作更进一步的说明。

[0026] 一种智能多频微波降雨监测方法,包括以下步骤,

[0027] S1,针对降雨的6个强度等级,分别按照 $\alpha$ GHz的频段间隔来选取实验样本频段,建立样本数据库;

[0028] S2,对每一个降雨强度下的各频段微波雨衰进行分析,选出强相关性的微波频段 $f_n$ , $n$ 表示降雨等级,为1-6中的任一整数;

[0029] S3,针对每个降雨强度等级,在 $(f_n-\alpha, f_n+\alpha)$ 的频率区间内,进行多次迭代,得到最优频段 $f'_n$ ,从而建立最优监测频段下的独立反演模型M1;

[0030] S4,将多个降雨强度等级下的各最优监测频段 $f_n$ 进行融合建模,训练为一体化反

演模型M2,并根据反演的结果对各微波频段 $f_n$ 的权重因子进行赋值,然后再次进行模型训练及校正,得到雨强智能识别模型M3;

[0031] S5,利用雨强智能识别模型M3对监测区域的雨强进行智能预识别,根据雨强识别结果,选择对应的监测频段,反演出高精度的降雨监测数据。

[0032] S1中实验样本的频段选择范围为3GHz~50GHz。

[0033]  $\alpha$ 取值范围为0.5~1.5。

[0034] 监测系统包括若干个联合组网的微波站点;所述微波站点依托铁塔基站或高楼建筑平台设立。

[0035] 所述微波站点设备的射频前端采用多频段PA、LNA结构和多频天线。

[0036] 现有技术手段的缺点在于:

[0037] 1、自动观测站承担单点及多点的降雨监测任务,但新增站点成本高,且站点的建设耗时长。如新增监测点任务时,经济和时间成本均较高。自动监测站不易大规模推广,只适合少量的单点建设。

[0038] 2、测雨雷达承担了中短距离的降雨监测任务,以面为单位。测雨雷达在空旷环境下测试效果较好,但在城区环境或者其他复杂地形环境下测量精度易受影响,且存在覆盖盲区。测雨雷达的建设选址要求较高,无法灵活补点,同样无法快速入网运行。

[0039] 3、卫星遥感技术实现了对全球的降雨监测的功能。但中高纬度及复杂地形(城市、山区等)反演精度差。在某些点或者面的区域,卫星遥感数据精度不高,需要其他降雨数据来源对其进行补充或修正。

[0040] 4、单频的微波降雨监测系统,仅依靠单一频段的样本数据进行建模训练,在不同雨强等级下的反演精度一致性较差。在某些雨强等级下的反演精度高,其他雨强等级下的反演精度差。

[0041] 对于本方案的各雨强等级下的多频微波降雨反演系统:

[0042] 根据降雨强度的6个等级划分,并按照1GHz为频段间隔的选取实验样本频段。分别建立样本数据库。

[0043] 首先进行各微波下的雨衰与降雨强度的相关性分析,选出强相关性的微波频段。然后根据筛选结果,扩大样本数据库进行模型训练,多次迭代后选取该雨强等级下的最优频段及反演模型。

[0044] 经过多次训练及建模后,可得出各雨强等级下的最优监测频段及对应的反演模型。

[0045] 对于多频降雨监测融合算法:

[0046] 系统首先需要对降雨强度进行智能预识别,通过多个雨强等级下的最优监测频段进行融合建模,训练多频一体化雨量反演模型,根据反演模型的结果对各微波频段的权重因子进行赋值,然后再次进行模型训练及校正,最终完成雨强智能与识别模型。

[0047] 系统对雨强进行智能预识别,根据雨强识别结果,选择对应的监测频段,反演出高精度的降雨监测数据。

[0048] 对于单点及网格化的降雨监测系统快速入网:

[0049] 微波系统建设选址可采用租赁铁塔基站或高楼建筑平台等方式,避免了类似自动观测站的站点选址。可直接在铁塔或者抱杆上安装多频微波设备。

[0050] 微波设备经过简单调试后即可入网进行运行,微波系统搭建到投入运行时间较短。可实现微波降雨监测系统快速高效入网。

[0051] 微波系统也可满足网格化的监测需求,根据站点资源和监测区域的网格切片地理数据进行建设规划,可在较短时间内完成网格化降雨监测系统。

[0052] 对于多频微波设备:

[0053] 微波设备的发射端及接收端在上电时进行系统同步,同步后设备进入正常工作状态。微波设备的射频前端采用多个频段的PA、LNA,天线采用多频天线。设备工作时进行周期性频段切换,实现了多频合一。

[0054] 下面进行详细阐述:

[0055] 1、不同频段的微波雨衰与降雨强度关联性的建立与分析

[0056] 微波是指频率为300MHz~3000GHz的电磁波,波长在0.1毫米~1米之间。微波在空间传播中会存在路径损耗,如存在遮挡障碍物,会导致路径损耗变大,遮挡及障碍物的严重程度将决定路径损耗增加的程度。微波的波长越长,其对应的绕射及衍射能力较强,反之短波的绕射及衍射能力越差。

[0057] 基于微波的降雨监测系统原理:微波在自由空间视距环境下的路径损耗 $L_{os}=32.44+20\lg D+20\lg F$ ,根据微波频率和传输距离可直接计算出路径损耗。在降雨环境下,由于雨滴属于障碍物将增加传输过程中的链路损耗。

[0058] 定义微波链路雨衰=微波系统的实际衰减-视距理论衰减。0表示实测衰减等于视距理论衰减,代表没有降雨。

[0059] 我国降雨强度的划分标准:

[0060]

降雨强度	24 小时降雨总量 ( mm )	12 小时降雨总量 ( mm )	备注
小雨	< 10	< 5	
中雨	10 ~ 25	5 ~ 15	
大雨	25 ~ 50	15 ~ 30	
暴雨	50 ~ 100	30 ~ 70	凡 24 小时内降水量超过 50mm 的降雨过程统称为暴雨
大暴雨	100 ~ 250	70 ~ 140	
特大暴雨	> 250	> 140	

[0061] 因雨滴的微物理特性,因此在微波频段的选择上考虑中高频段,较低频段的微波雨衰低敏,关联性较差。但频段也不宜过高,过高的微波频段链路衰减大,且雨衰高敏。

[0062] 因此考虑使用3~50GHz频段的微波。频段间隔以1GHz为单位,共选取48个通信频段,雨量按照降雨强度的7个等级进行关联性建议与分析,其过程如图1所示。

[0063] 2、不同降雨强度的最优监测频段选择

[0064] 根据不同频段的微波与降雨强度的关联性分析,选取不同降雨强度下高相关性频段,建立建模样本数据库。

[0065] 在6级雨强的每一级分下分别选取高相关性的3-5个频段,进行样本数据建立,然后进行雨量反演模型的训练。第一版模型输出后,需进行偏差分析及模型迭代,在多次迭代后获得较为精准的反演模型。

[0066] 对比该雨强下的不同频段反演精度,选取最优频段,并以该频段为该雨强下实际监测及降雨量数据输出工作频段,如图2所示。

[0067] 基于微波的雨量场反演理论,建立深度学习模型。模型特征主要包括:微波频率,传输距离,不同雨量下的雨滴的物理结构特性,相关气候数据,地形数据。构建海量样本数据,训练后输出雨量场反演模型,并根据模型值与实际监测值进行偏差分析,对模型及样本进行优化,最后输出精准的雨量场反演模型。

[0068] 3、微波多频融合的智能降雨反演

[0069] 如图3和图4所示,针对6个雨强进行单独的数据训练及建模,确认了各雨强下的最优工作频段。但系统实际运行过程中,需要先对雨强进行智能识别,然后再根据最优频段模型输出雨强数据。

[0070] 4、多频微波链路系统

[0071] 如图5所示,微波链路设备分为微波发射端和微波接收端。发射端和接收端都采用基带处理数字信号,同时设备采用多路射频前端,以满足多频发射和接收的需求。

[0072] 发射端和接收端运行时保持同步状态,保证收发一致性。

[0073] 微波系统自定义帧结构和帧长度。微波发射端的发射频率按照帧进行周期性切换,微波接收端按照帧切换至对应频率并进行接收。

[0074] 本方案的优点在于:

[0075] 1、采用多频微波设备,设备可发送和接收多个微波频段。

[0076] 2、采用多个频段与各雨强等级的单独模型训练,反演出不同雨强等级下的最优监测频段。

[0077] 3、通过雨强智能预识别后,系统选择对应雨强等级的最优监测频段进行降雨数据反演。

[0078] 4、多频微波系统在各雨强下的应用更为灵活,反演精度更高。

[0079] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

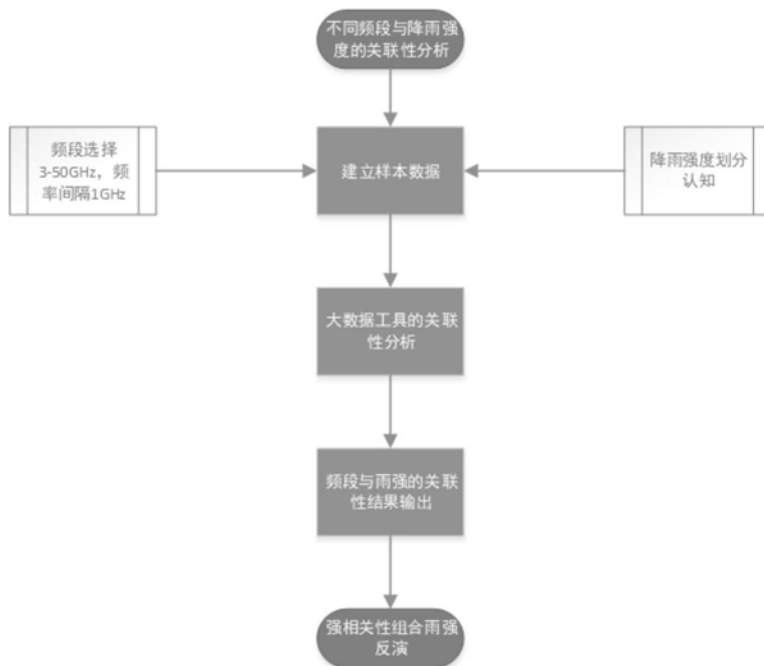


图1



图2

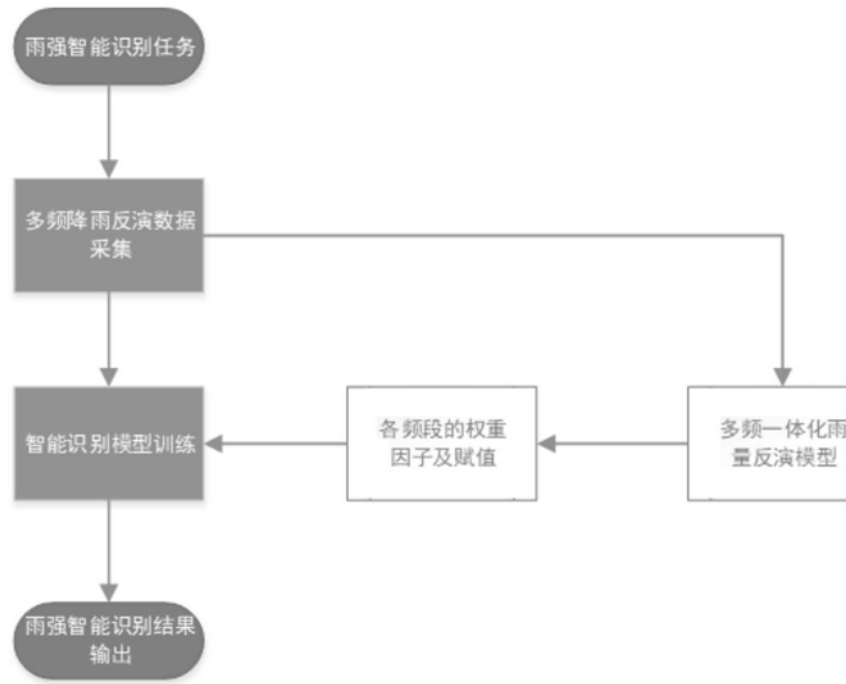


图3

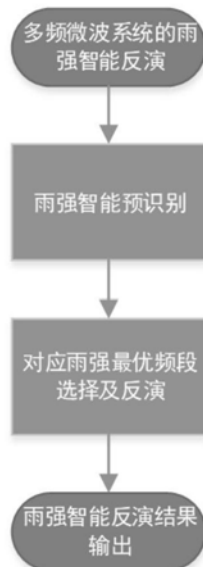


图4

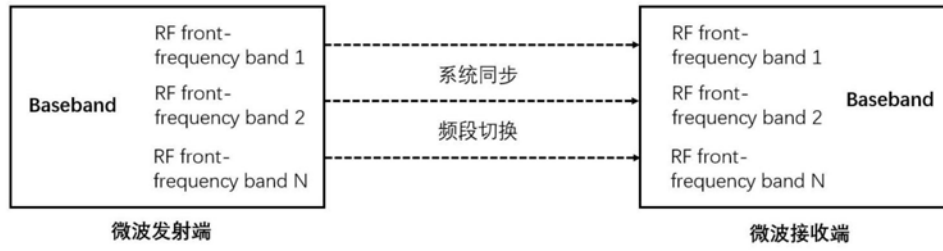


图5