



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112203249 A

(43) 申请公布日 2021. 01. 08

(21) 申请号 202011048156.9

G01R 31/12 (2006.01)

(22) 申请日 2020.09.29

G01R 31/00 (2006.01)

G01R 23/16 (2006.01)

(71) 申请人 国网四川省电力公司电力科学研究院

地址 610000 四川省成都市高新区锦晖西二街16号

(72) 发明人 贾志杰 贺含峰 范松海 陈俊 王嘉易 陈轲娜 董汉彬

(74) 专利代理机构 北京科家知识产权代理事务所(普通合伙) 11427

代理人 宫建华

(51) Int. Cl.

H04W 4/38 (2018.01)

H04L 12/66 (2006.01)

H04W 88/16 (2009.01)

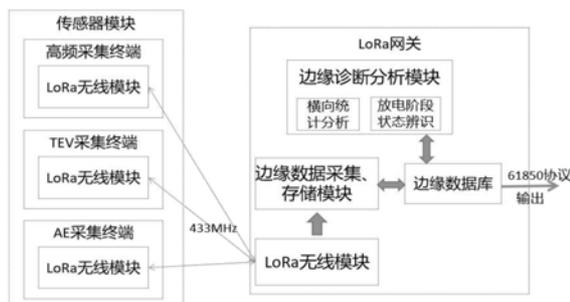
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种适用于开关柜局部放电的智能网关系统

(57) 摘要

本申请公开一种适用于开关柜局部放电的智能网关系统,包括传感器模块、边缘数据采集和存储模块、边缘诊断分析模块和LoRa网关;传感器模块包括多种采集终端和各采集终端的LoRa无线模块,采集局部放电多物理信号,并通过LoRa无线模块传输给LoRa网关;边缘数据采集和存储模块通过LoRa方式连接局放智能采集终端,对接收的不同智能采集终端的多物理信号进行精简状态特征集的规范化和有效性分析;边缘诊断分析模块包括横向统计分析模块和风险评估算法模块,提取边缘数据采集和存储模块采集的数据,将调用SVM人工智能分类器算法进行辅助计算处理,存储处理完成的数据;LoRa网关实现与LoRa采集终端之间的数据传输。



1. 一种适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其特征在于,包括传感器模块、边缘数据采集和存储模块、边缘诊断分析模块和LoRa网关;

传感器模块包括多种采集终端和各采集终端的LoRa无线模块,用于采集局部放电多物理信号,并将信号通过LoRa无线模块传输给LoRa网关;

边缘数据采集和存储模块通过LoRa方式连接局放智能采集终端,对接收的不同智能采集终端的多物理信号进行精简状态特征集的规范化和有效性分析,实现局部放电多物理信号的精简状态特征就地提取;

边缘诊断分析模块包括智能终端节点数据的横向统计分析模块和基于放电阶段状态辨识的风险评估算法模块;横向统计分析模块和风险评估算法模块提取边缘数据采集和存储模块采集的数据,风险评估算法模块将调用SVM人工智能分类器算法进行辅助计算处理,存储处理完成的数据;

LoRa网关包括LoRa无线模块,通过LoRa无线模块实现LoRa网关与LoRa采集终端之间的数据传输。

2. 如权利要求1所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其特征在于,传感器模块包括超声采集终端、高频电流采集终端、地电波采集终端以及和各采集终端的LoRa无线模块;传感器模块采集的局部放电多物理信号包括超声、高频电流、地点波;超声、高频电流和地电波智能终端均采用统一的硬件架构,通过无线相位对各智能终端进行同步。

3. 如权利要求2所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其特征在于,传感器模块具体包括集成化智能终端电路、电源电路和信号处理电路;集成化智能终端电路包括超低功耗MCU、调理器、高精度始终外围电路、温度传感器、低功耗处理电路和LORA传输电路;电源电路包括电池、低功耗电源和开关电路;信号处理电路包括隔离电路、去耦电路、以及静电雷击浪涌保护电路;集成化智能终端电路通过控制接口控制电源电路中的开关电路,信号处理电路连接电源电路中的低功耗电源。

4. 如权利要求1所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其特征在于,高频/TEV信号的精简状态特征数据集包括提取放电脉冲的相位、幅值(ϕ, V),构成长度为N的二维数表;超声信号的精简状态特征数据集包括提取放电脉冲的相位、幅值(ϕ, V)序列,以及提取信号的前5次主频及其对应峰值,构成两段二维数据表。

5. 如权利要求1所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其特征在于,在智能终端节点数据的横向统计分析模块中,对各智能终端节点数据进行同步脉冲匹配分析,根据同类终端匹配脉冲信号幅值的统计分布,进行干扰排除,以及放电信号的粗略定位;根据安装于同一台开关设备的多物理量信号进行匹配分析,根据信号特征进行干扰辨识、模式分析和精确定位。

6. 如权利要求1所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其特征在于,在基于放电阶段状态辨识的风险评估算法模块中,从多物理量数据中提取并选择代表放电特征的精简特征参量,然后输入SVM分类器中,采用人工智能分类器进行放电阶段辨识和风险评估预警;根据放电的相关参量在平稳老化阶段和高风险阶段的差异,利用有效的特征参量作为放电发展阶段划分的依据,实现对气隙放电发展阶段的诊断。

7. 如权利要求6所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其特征在于,放电特征

的参量提取具体包括:基于放电的三个基础参量-幅值(V)、相位(Φ)、时间(t),通过分析和运算构造相关的特征参量。

8.如权利要求7所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其特征在于,特征参量中包括信息熵、威布尔分布参数、平均值、标准差和最大值。

9.如权利要求6所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其特征在于,在提取放电特征参量之后,选取Fisher得分和最大信息系数MIC这两个指标对应的算法来进行特征选择,得到精简特征参量。

10.如权利要求6所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其特征在于,在实现对放电数据进行特征参量的提取及选择的基础上,基于支持向量机对放电发展阶段进行诊断,具体包括如下子步骤:

从每组试验的每个阶段的放电数据中,各选取80%的数据作为训练样本,另外20%的数据作为识别样本;

对训练样本和识别样本进行特征量的提取与特征量选择;

以训练样本作为SVM的输入,对模型进行训练,并将训练好的样本进行保存;

以识别数据归一化后,作为SVM的输入,用训练好的模型进行识别。

一种适用于开关柜局部放电的智能网关系统

技术领域

[0001] 本发明涉及开关柜局部放电监测技术领域,尤其是涉及一种适用于开关柜局部放电的智能网关系统。

背景技术

[0002] 电力物联网建设是国家数字化新基建的重要内容,是国家促进产业转型升级、拉动经济实现跨越性发展的重要举措。作为电力物联网最重要的基础支撑技术之一,无线传感器网络(Wireless Sensor Network,WSN)作为一种新型的网络技术得到广泛的关注。它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术、分布式信息处理技术等多种技术,能够通过各类集成化的微型传感器节点协作完成监测、感知和采集各种环境信息或被监测对象的信息,并对信息进行处理,可以通过随机自组织无线网络以多跳中继方式将感知的信息传送到用户终端。而作为无线传感网络的智能网关,是实现智能感知终端与后台服务器以及云终端相连接的必要枢纽。

[0003] 而现有的开关柜局放监测边缘采集端存在数据传输量大的问题,且边缘计算能力较弱,不能快速有效地辨识早起的故障预警,存在一定的电力生产隐患。

发明内容

[0004] 本申请提供了一种适用于开关柜局部放电的智能网关系统,包括传感器模块、边缘数据采集和存储模块、边缘诊断分析模块和LoRa网关;

[0005] 传感器模块包括多种采集终端和各采集终端的LoRa无线模块,用于采集局部放电多物理信号,并将信号通过LoRa无线模块传输给LoRa网关;

[0006] 边缘数据采集和存储模块通过LoRa方式连接局放智能采集终端,对接收的不同智能采集终端的多物理信号进行精简状态特征集的规范化和有效性分析,实现局部放电多物理信号的精简状态特征就地提取;

[0007] 边缘诊断分析模块包括智能终端节点数据的横向统计分析模块和基于放电阶段状态辨识的风险评估算法模块;横向统计分析模块和风险评估算法模块提取边缘数据采集和存储模块采集的数据,风险评估算法模块将调用SVM人工智能分类器算法进行辅助计算处理,存储处理完成的数据;

[0008] LoRa网关包括LoRa无线模块,通过LoRa无线模块实现LoRa网关与LoRa采集终端之间的数据传输。

[0009] 如上所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其中,传感器模块包括超声采集终端、高频电流采集终端、地电波采集终端以及和各采集终端的LoRa无线模块;传感器模块采集的局部放电多物理信号包括超声、高频电流、地点波;超声、高频电流和地电波智能终端均采用统一的硬件架构,通过无线相位对各智能终端进行同步。

[0010] 如上所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其中,传感器模块具体包括集成化智能终端电路、电源电路和信号处理电路;集成化智能终端电路包括超低功耗MCU、

调理器、高精度始终外围电路、温度传感器、低功耗处理电路 和LORA传输电路;电源电路包括电池、低功耗电源和开关电路;信号处理电路 包括隔离电路、去耦电路、以及静电雷击浪涌保护电路;集成化智能终端电路通 过控制接口控制电源电路中的开关电路,信号处理电路连接电源电路中的低功耗 电源。

[0011] 如上所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其中,高频/TEV信号 的精简状态特征数据集包括提取放电脉冲的相位、幅值(ϕ, V),构成长度为N的二维数表;超声信号的精简状态特征数据集包括提取放电脉冲的相 位、幅值(ϕ, V)序列,以及提取信号的前5次主频及其对应峰值,构成两段 二维数据表。

[0012] 如上所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其中,在智能终端节点 数据的横向统计分析模块中,对各智能终端节点数据进行同步脉冲匹配分析, 根据同类终端匹配脉冲信号幅值的统计分布,进行干扰排除,以及放电信号 的粗略定位;根据安装于同一台开关设备的多物理量信号进行匹配分析,根 据信号特征进行干扰辨识、模式分析和精确定位。

[0013] 如上所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其中,在基于放电阶段 状态辨识的风险评估算法模块中,从多物理量数据中提取并选择代表放电特 征的精简特征参量,然后输入SVM分类器中,采用人工智能分类器进行放电 阶段辨识和风险评估预警;根据放电的相关参量在平稳老化阶段和高风险阶 段的差异,利用有效的特征参量作为放电发展阶段划分的依据,实现对气隙 放电发展阶段的诊断。

[0014] 如上所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其中,放电特征的参量 提取具体包括:基于放电的三个基础参量-幅值(V)、相位(ϕ)、时间(t), 通过分析和运算构造相关的特征参量。

[0015] 如上所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其中,特征参量中包括 信息熵、威布尔分布参数、平均值、标准差和最大值。

[0016] 如上所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其中,在提取放电特征 参量之后,选取Fisher得分和最大信息系数MIC这两个指标对应的算法来进 行特征选择,得到精简特征参量。

[0017] 如上所述的适用于开关柜局部放电的智能网关系统,其中,在实现对放电数 据进行特征参量的提取及选择的基础上,基于支持向量机对放电发展阶段进 行诊断,具体包括如下子步骤:

[0018] 从每组试验的每个阶段的放电数据中,各选取80%的数据作为训练样本, 另外20%的数据作为识别样本;

[0019] 对训练样本和识别样本进行特征量的提取与特征量选择;

[0020] 以训练样本作为SVM的输入,对模型进行训练,并将训练好的样本进行 保存;

[0021] 以识别数据归一化后,作为SVM的输入,用训练好的模型进行识别。

[0022] 本申请实现的有益效果如下:本申请有效解决了开关柜局放监测边缘采集端 数据传输量大的问题,显著提升了开关柜局放监测的边缘计算能力,实现了对开 关设备的绝缘状态的准确辨识和故障的早期预警,对于提高开关设备运行可靠性 和经济性,保障电力生产安全,促进电网企业管理和运维转型、业务升级,提升 用户体验和企业社会形象都有

着非常重要的意义。

附图说明

[0023] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0024] 图1是适用于开关柜局部放电的智能网关系统示意图;

[0025] 图2为集成化智能终端的硬件架构示意图;

[0026] 图3为传感器模块功能框图;

[0027] 图4为智能终端节点数据的横向统计分析流程图;

[0028] 图5为基于放电阶段状态辨识的风险评估算法流程图;

[0029] 图6为LoRa网关中LoRa无线模块结构图;

[0030] 图7为LoRa网关和无线LoRa采集终端具体软件实现流程图。

具体实施方式

[0031] 下面结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0032] 实施例一

[0033] 本申请实施例一提供一种适用于开关柜局部放电的智能网关系统,如图1所示,包括传感器模块、边缘数据采集和存储模块、边缘诊断分析模块和LoRa网关;各模块具体功能如下:

[0034] ①传感器模块:传感器模块包括超声采集终端、高频电流采集终端、地电波采集终端以及和各采集终端相连的LoRa无线模块,用于采集超声、高频电流、地点波等局部放电多物理信号,并将信号通过LoRa无线模块传输给智能网关;

[0035] 其中,超声、高频电流和地电波智能终端均采用统一的硬件架构,通过无线相位对各智能终端进行同步,基于LoRa通信方式实现智能终端与边缘计算网关的通信连接;

[0036] 图2为集成化智能终端的硬件架构示意图。集成化智能终端的硬件架构包括MCU AD采集数据处理模块,以及与MCU AD采集数据处理模块连接的信号调理器模块、外部相位模块、LORA传输模块(LORA传输模块连接LORA接收模块)、RTC模块和电池低功耗处理模块;其中不同原理的信号调理器模块集成于单板系统;

[0037] 低功耗MCU采用K64系列处理,拥有超低待机功耗,以及高带宽的AD采集控制器,能够在保证低功耗的同时,实现终端的采集需求;LoRa拟采用SX1268,使用470MHz频段进行通讯,设计接收灵敏度-127dbm,以及高达20dbm的发射功率,终端到网关视距可到2000m以上。

[0038] 图3为传感器模块功能框图,包括集成化智能终端电路、电源电路和信号处理电路;集成化智能终端电路包括超低功耗MCU、调理器、高精度始终外围电路、温度传感器、低

功耗处理电路和LORA传输电路;电源电路包括电池、低功耗电源和开关电路;信号处理电路包括隔离电路、去耦电路、以及静电雷击浪涌保护电路;集成化智能终端电路通过控制接口控制电源电路中的开关电路,信号处理电路连接电源电路中的低功耗电源。

[0039] ②边缘数据采集和存储模块:边缘数据采集和存储模块通过LoRA方式连接局放智能采集终端,对接收的不同智能采集终端的多物理信号进行精简状态特征集的规范化和有效性分析,实现局部放电多物理信号的精简状态特征就地提取:高频/TEV信号的精简状态特征数据集,提取放电脉冲的相位、幅值(ϕ , V),构成长度为N的二维数表;超声信号的精简状态特征数据集,除了提取放电脉冲的相位、幅值(ϕ , V)序列,还进一步提取信号的前5次主频及其对应峰值,构成两段二维数据表。局部放电多物理信号的精简状态特征传输大大降低了网关数据传输量,显著提升了网关的边缘计算能力。

[0040] ③边缘诊断分析模块:边缘诊断分析模块包括:智能终端节点数据的横向统计分析模块和基于放电阶段状态辨识的风险评估算法模块。边缘采集模块采集的数据进入边缘诊断分析模块时,保存在数据库的统一数据区,数据横向统计分析模块和风险评估算法模块提取统一数据区的数据,风险评估算法模块将调用SVM人工智能分类器算法进行辅助计算处理,处理完成的数据存入数据库的处理数据区,等待输出模块的提取。

[0041] 图4为智能终端节点数据的横向统计分析流程图;在智能终端节点数据的横向统计分析模块中,对各智能终端节点数据进行同步脉冲匹配分析,根据同类终端匹配脉冲信号幅值的统计分布,进行干扰排除,以及放电信号的粗略定位;根据安装于同一台开关设备的多物理量信号进行匹配分析,根据信号特征进行干扰辨识、模式分析和精确定位。

[0042] 图5为基于放电阶段状态辨识的风险评估算法流程图;在基于放电阶段状态辨识的风险评估算法模块中,从多物理量数据中提取并选择代表放电特征的精简特征参量,然后输入SVM分类器中,采用人工智能分类器进行放电阶段辨识和风险评估预警;根据放电的相关参量在平稳老化阶段和高风险阶段的差异,利用有效的特征参量作为放电发展阶段划分的依据,从而实现对气隙放电发展阶段的诊断;

[0043] 具体地,放电特征的特征参量提取具体包括:基于放电的三个基础参量-幅值(V)、相位(ϕ)、时间(t),通过分析和运算,构造22个相关的特征参量,如下表1所示:

[0044] 表1提取的放电特征参量

序号	基础参量	符号	含义
1	相位	$\sigma(\varphi)$	放电相位的标准差
2		φ -wide	放电相位宽度
3		$E(V)$	放电幅值的信息熵
4	幅值	$\mu(V)$	放电幅值的平均值
5		$\sigma(V)$	放电幅值的标准差
6		$MAX(V)$	放电幅值的最大值
7		$E(\Delta V)$	前后两次放电幅值之差的信息熵
8		$\mu(\Delta V)$	前后两次放电幅值之差的平均值
9		$\sigma(\Delta V)$	前后两次放电幅值之差的标准差
[0045] 10	N-V 图谱	$MAX(\Delta V)$	前后两次放电幅值之差的信息熵
11		$\alpha(N-V)$	N-V 图谱威布尔分布尺度参数
12		$\beta(N-V)$	N-V 图谱威布尔分布形状参数
13	时间	$E(\Delta t)$	前后两次放电时间间隔的信息熵
14		$\mu(\Delta t)$	前后两次放电时间间隔的平均值
15		$\sigma(\Delta t)$	前后两次放电时间间隔的标准差
16		$max(\Delta t)$	前后两次放电时间间隔的最大值
17	N- Δt 图谱	$\alpha(N-\Delta t)$	N- Δt 图谱威布尔分布尺度参数
18		$\beta(N-\Delta t)$	N- Δt 图谱威布尔分布形状参数
19	放电次数	$E(N)$	每秒内放电次数的信息熵
20		$\mu(N)$	每秒内放电次数的平均值
21		$\sigma(N)$	每秒内放电次数的标准差
22		$max(N)$	每秒内放电次数的最大值

[0046] 表1中各参数含义如下:

[0047] 信息熵 $E(x)$:用来解决对信息的量化度量问题,进而判断系统的不确定性和信息量的大小,也是整个系统不确定性的期望;信息熵的定义公式如式(1)所示:

$$[0048] \quad E_n(x) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2(p(x_i)) \quad (1)$$

[0049] $p(x_i)$ 表示事件 x_i 发生的概率, n 表示样本数量。

[0050] 威布尔分布参数:通过拟采用N-V图谱以及N- Δt 图谱的威布尔分布参数作为反映不同放电阶段的特征参量。局部放电的二参数威布尔分布函数为:

$$[0051] \quad F_q = \begin{cases} 1 - \exp[-(q/\alpha)^\beta] & q > 0 \\ 0 & q < 0 \end{cases} \quad (2)$$

[0052] 其中 q 为局放的放电量或幅值; α 为威布尔分布尺度参数, β 为威布尔分布形状参数。

[0053] 平均值、标准差、最大值:将从起始到击穿的整个放电发展过程获取的全部原始数据进行处理,使每个样本中包含500个放电点,共获得 M 个样本;在提取特征量之前,采用下式对原始数据中放电幅值以及 Δt 数据进行归一化处理:

$$[0054] \quad z_i = \frac{x_i - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \quad (3)$$

[0055] 其中, x_i 为集合 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ 中第 i 个元素, z_i 为 x_i 归一化后的值;

[0056] 对于归一化后的气隙放电的每个数据样本经上述计算提取22个特征参量, 最终构建成一个22维样本空间, 选取Fisher得分和最大信息系数 (maximal information coefficient, MIC) 这两个指标对应的算法来进行特征选择;

[0057] 其中, Fisher得分是根据特征对类别的可判定分离性进行评分, 即判断每个特征参量对类别的表征能力; Fisher得分的评分机制如式 (4) 所示:

$$[0058] \quad Fisher(f^t) = \frac{\sum_{i=1}^c n_i (\mu_i^t - \mu^t)^2}{\sum_{i=1}^c n_i (\sigma_i^t)^2} \quad (4)$$

[0059] 其中, f^t 为第 t 个特征参量, c 为样本的类别数, n_i 为第 i 类样本的个数, μ^t 为特征量 f^t 的均值, μ_i^t 和 σ_i^t 分别为第 i 类样本的特征量 f^t 的均值; 由此可以得知, 特征量 f^t 的Fisher得分越高, 其类内变化越小而异类间变化越大, 因此Fisher得分越高越好。

[0060] MIC主要利用互信息和网格划分的方法进行相关的计算, 互信息是用来衡量变量之间相关程度的指标, 对于序列 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 和 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$, 互信息定义为,

$$[0061] \quad MI(A, B) = \sum_{a \in A} \sum_{b \in B} p(a, b) \log \frac{p(a, b)}{p(a)p(b)} \quad (5)$$

[0062] 其中, $p(a)$ 为序列A的边缘概率密度, $p(b)$ 为序列B的边缘概率密度, $p(a, b)$ 为序列A和B的联合概率密度。

[0063] 依据Fisher得分和MIC对上节提取的22个特征参量进行特征选择, 根据评分情况及相应的排序, 从22个特征向量中取排名较高前60%即前13个特征向量, 作为判定类别的特征子集。

[0064] 在实现对放电数据进行特征参量的提取及选择的基础上, 基于支持向量机 (SVM) 对放电发展阶段进行诊断, 具体的操作步骤如下:

[0065] Step1、从每组试验的每个阶段的放电数据中, 各选取80%的数据作为训练样本, 另外20%的数据作为识别样本;

[0066] Step2、对训练样本和识别样本进行特征量的提取与特征量选择;

[0067] Step3、以训练样本作为SVM的输入, 对模型进行训练, 并将训练好的样本进行保存;

[0068] Step4、以识别数据归一化后, 作为SVM的输入, 用训练好的模型进行识别; 经上述诊断过程得到的识别效果如下表2所示:

[0069] 表2气隙放电发展阶段的诊断结果

	训练数据	测试数据	测试样本数	识别准确率
[0070]	85%U _b 下的放电数据	正常劣化阶段	300 组	92.54%
		高风险阶段	300 组	97.93%
	80%U _b 下的放电数据	正常劣化阶段	300 组	98.33%
		高风险阶段	300 组	95.33%
	75%U _b 下的放电数据	正常劣化阶段	300 组	93.68%
		高风险阶段	300 组	99.33%
	70%U _b 下的放电数据	正常劣化阶段	300 组	97.66%
		高风险阶段	300 组	90.41%

[0071] 由上表可以看出,各类沿面放电发展阶段的诊断正确率均在90%以上,因此 本发明采用的特征参量、特征选择方法以及分类器,对气隙放电发展阶段的诊断 具有较好的识别效果。

[0072] ④LoRa网关:图6为LoRa网关中LoRa无线模块结构图,LoRa无线模块 选用升特公司设计的SX1278设计方案。具体采用的ISM频段为433MHz,发射 功率为20dBm,LoRa采集终端与LoRa网关组成星型网络实现相互通信;

[0073] LoRa网关的软件部分基于STM32标准库进行开发设计,应用程序包括主程 序、SX1278配置程序、通信协议配置程序等子程序。

[0074] 图7为LoRa网关和无线LoRa采集终端具体软件实现流程图;如图7所示, 首先进行各外设初始化,通过超声采集终端、高频电流采集终端、地电波采集终 端分别采集超声信号、高频电流信号、地点波信号,通过采集终端LoRa无线模 块传输给智能网关,如果网关超过30ms未收到子机发来的数据,重发指令让子 机发一次,当接收到子机发来的数据,则精简状态特征就地提取和存储,然后进 行边缘诊断分析,得到分析结果并存储。

[0075] 以上所述实施例,仅为本申请的具体实施方式,用以说明本申请的技术方案, 而非对其限制,本申请的保护范围并不局限于此,尽管参照前述实施例对本申请 进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:任何熟悉本技术领域的技 术人员在本申请揭露的技术范围内,其依然可以对前述实施例所记载的技术方案 进行修改或可轻易想到变化,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修 改、变化或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请实施例技术方案的精 神和范围。都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应所述 以权利要求的保护范围为准。

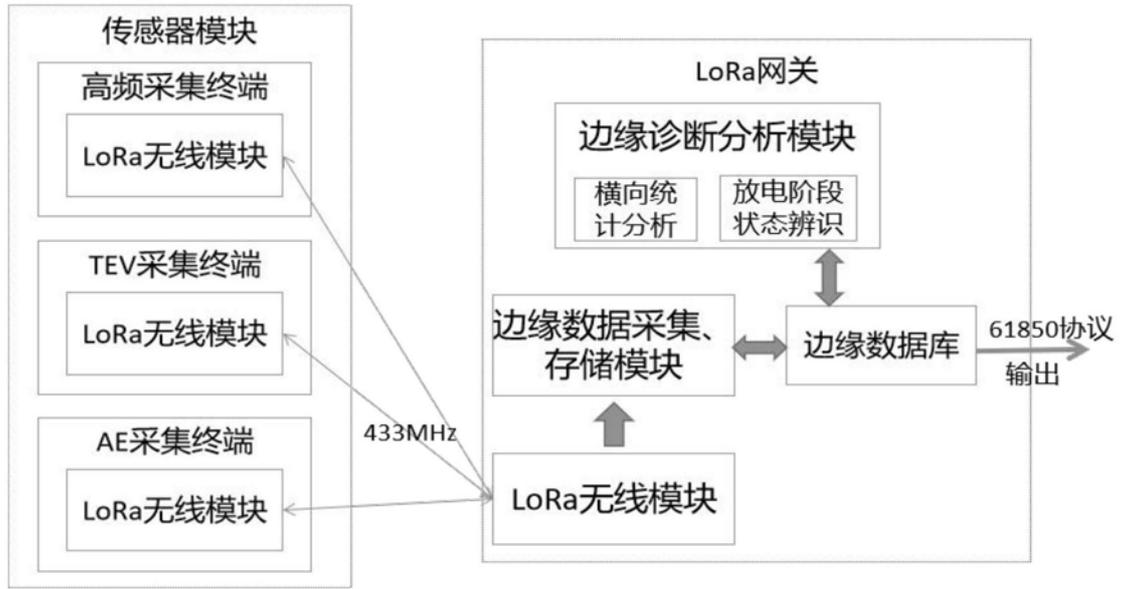


图1

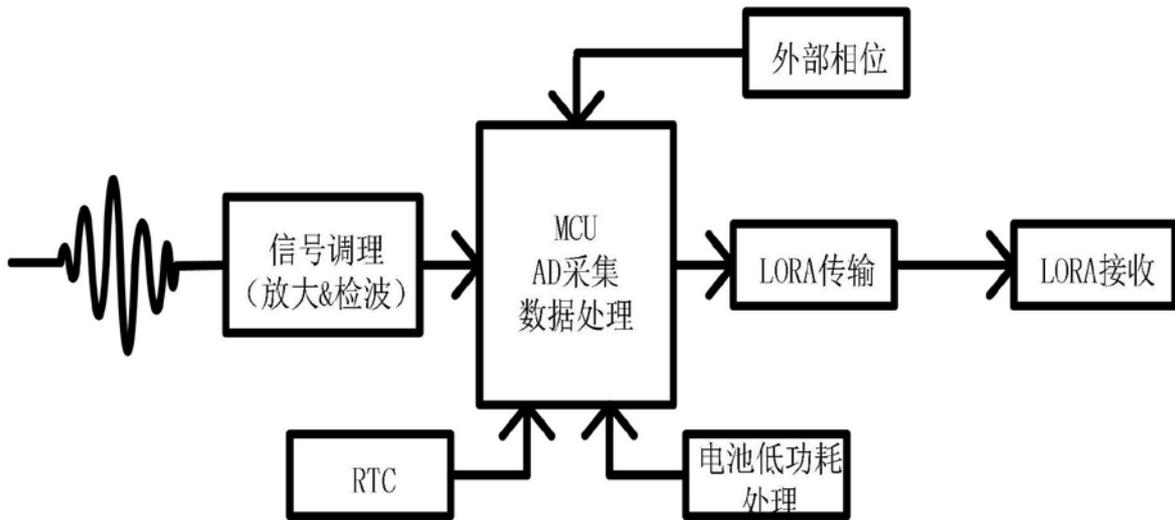


图2

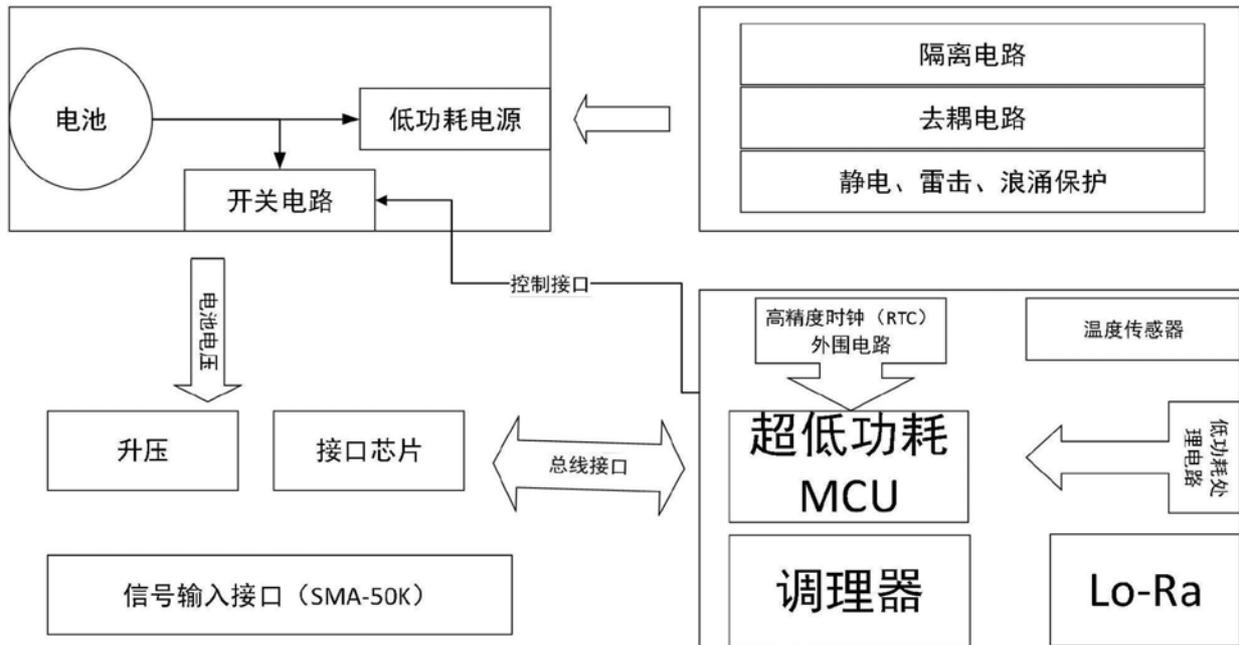


图3

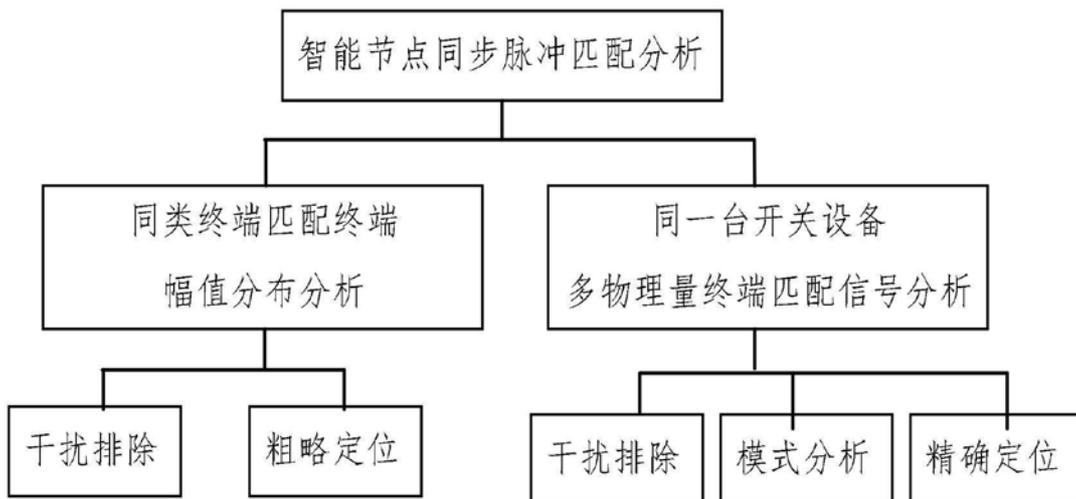


图4

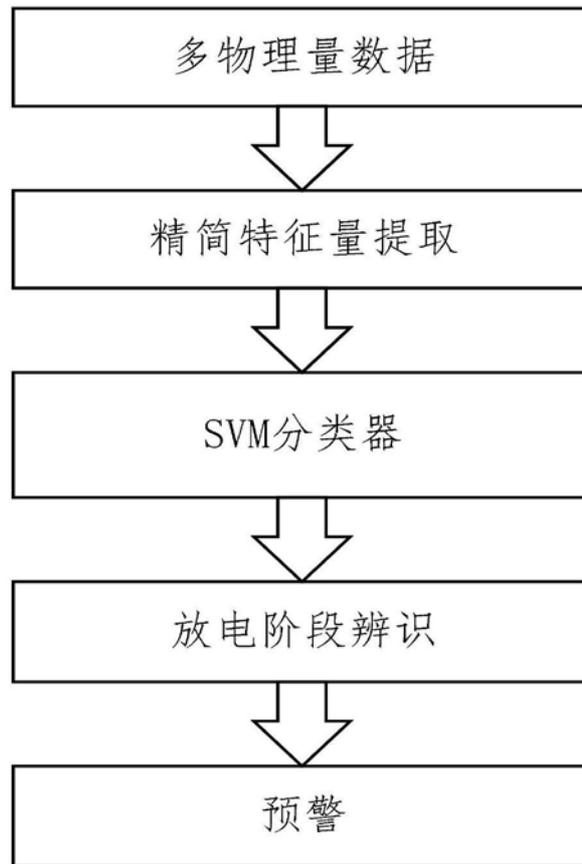


图5

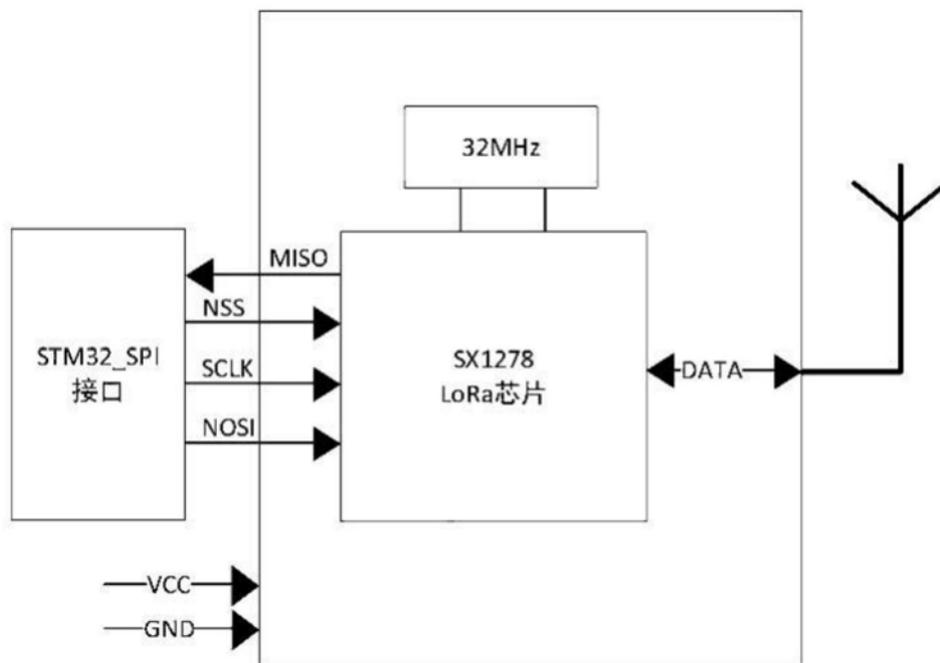


图6

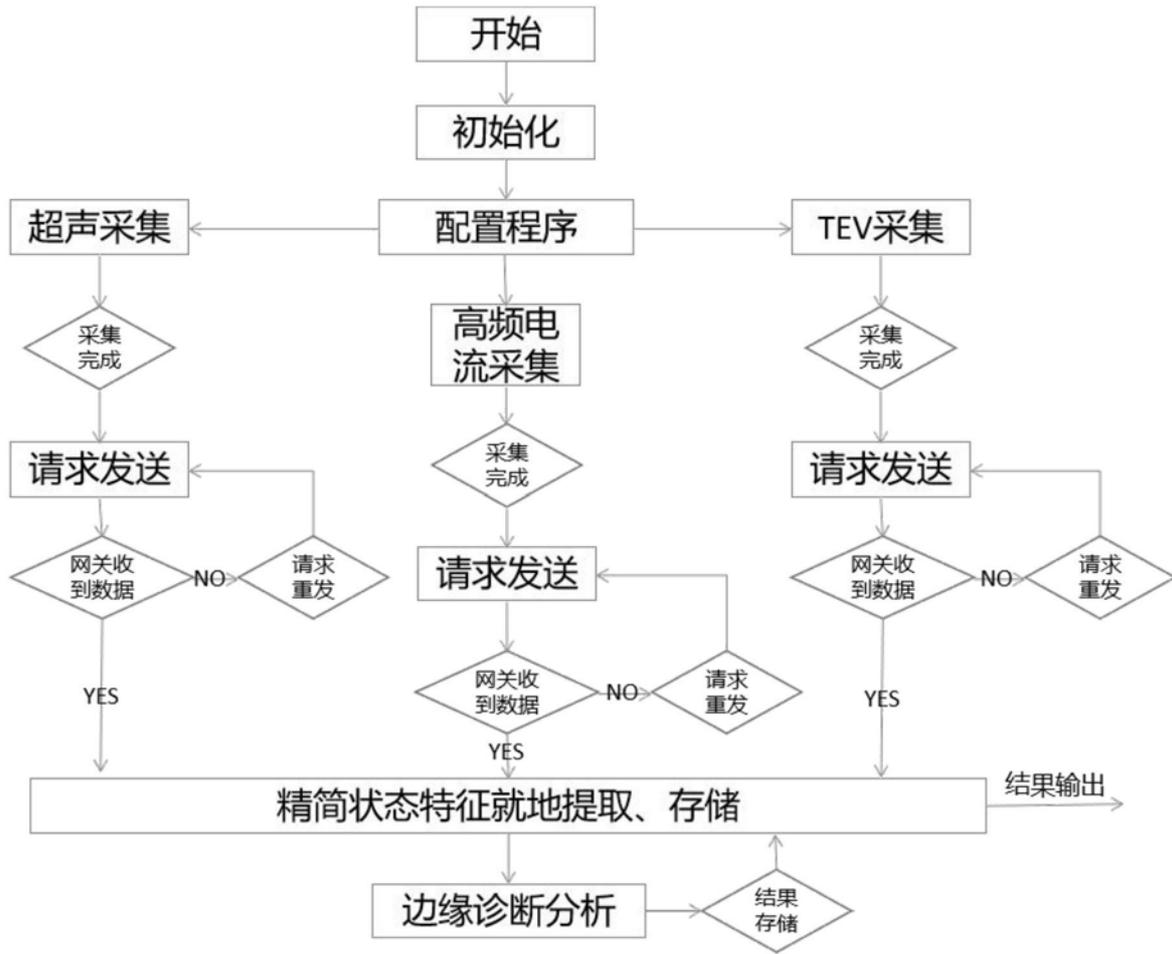


图7