



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112749509 B

(45) 授权公告日 2022.06.10

(21) 申请号 202011612201.9

(22) 申请日 2020.12.30

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112749509 A

(43) 申请公布日 2021.05.04

(73) 专利权人 西华大学
地址 610039 四川省成都市金牛区土桥金周路999号
专利权人 国网四川省电力公司电力科学研究院

(72) 发明人 董秀成 陈桂芳 郑永康 刘勇
李梓玮 陈晓东 田川 赵以兵
王大兴 张宸滔 孟雷 韩睿

(74) 专利代理机构 成都方圆聿联专利代理事务所(普通合伙) 51241
专利代理师 苟铭

(51) Int.Cl.
G06F 30/27(2020.01)
G06N 3/04(2006.01)
G06N 3/08(2006.01)
H02H 7/26(2006.01)
G06F 16/215(2019.01)

审查员 许哲

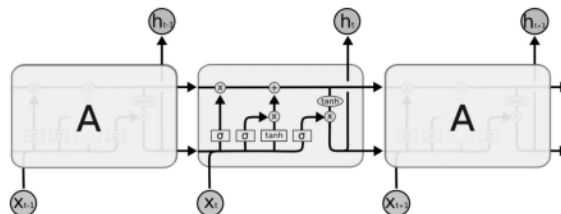
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于LSTM神经网络智能变电站故障诊断方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于LSTM神经网络的智能变电站故障诊断方法,包括:对智能变电站故障告警信息进行分类管理;获取智能变电站的单间隔保护测试故障告警信息,并进行告警信息预处理;对智能变电站单间隔继电保护测试故障进行分类,打标签;将预处理后的告警信息分为训练集和测试集,把训练集和对应故障类型标签输入LSTM神经网络进行训练;模型输出故障类型与评价模型优劣的F1-score值、损失值,得到足够好的模型后保存模型;利用训练好的历史最优模型进行智能变电站单间隔继电保护测试故障诊断。本发明的优点是:解决难以处理海量数据并从中找到关键信息的问题,提高了故障诊断的准确度与效率。将LSTM神经网络作为故障诊断模型,进一步提高故障诊断效果。



1. 一种基于LSTM神经网络的智能变电站故障诊断方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一,对智能变电站继电保护故障告警信息进行分类管理;分为四类:即采样故障类、跳闸故障类、通信故障类和本体故障类;

智能变电站单间隔继电保护测试故障诊断对象包括继电保护试验装置、合并单元、智能终端和保护装置、通信网络以及通信设备;

(1) 采样故障类:即与SV报文采样通信回路有关的所有设备所发生的故障和异常;设备有合并单元、保护装置、网络分析仪;

(2) 跳闸故障类:即与GOOSE报文通信回路有关的所有设备所发生的故障和异常;涵盖的设备有保护装置、智能终端;

(3) 通信故障类:即SV报文和GOOSE报文通信链路以及相关设备通信开入、开出端口发生故障或异常;涵盖的设备有保护装置、合并单元、智能终端和光纤链路;

(4) 本体故障类:即二次设备自身所发生的故障,包括设备存储器出错、设备失电以及设备CPU插件异常,涉及设备本体的故障都认为是本体故障类;

步骤二,对智能变电站单间隔继电保护测试故障进行分类,打标签;

步骤三,获取智能变电站单间隔继电保护测试故障告警数据集;

步骤四,把告警数据集进行删除重复数据、零均值、归一化的预处理;

步骤五,将预处理后的故障告警数据集分为互斥的训练集和测试集,其中训练集占故障告警数据集70%、测试集占故障告警数据集30%;

步骤六,构建LSTM神经网络故障诊断模型;

步骤七,把训练集和对应故障类型输入LSTM神经网络进行训练;

步骤八,把测试集输入训练好的模型,输出故障类型,进行评估得到损失值和F1-score值;

模型评价标准F1-score,是评价标准F-score中 $\beta=1$ 的特例;F-score综合考虑Precision(精确率)和Recall(召回率)的调和值,计算公式:

$$F - Score = (1 + \beta^2) \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{\beta^2 \cdot Precision + Recall} \quad (8)$$

其中, $\begin{cases} \beta = 1, \text{精确率和召回率同样重要;} \\ \beta < 1, \text{精确率更重要;} \\ \beta > 1, \text{召回率更重要。} \end{cases}$;

步骤九,判断训练效果是否理想,若损失值大于0.0001返回步骤六;若小于0.0001停止训练,输出F1-score值,保存模型;

步骤十,保存历史评估F1-score值最大模型,用于智能变电站单间隔继电保护测试故障诊断,结束。

2. 根据权利要求1所述的智能变电站故障诊断方法,其特征在于:所述步骤二中,根据故障诊断对象可以对故障进行分类;将分类好的故障打标签,用于模型训练和故障输出。

3. 根据权利要求2所述的智能变电站故障诊断方法,其特征在于:所述步骤三中,智能变电站的单间隔保护测试故障告警数据集,是从历史故障告警数据库中获得,数据库中原始数据是利用现有的继电保护自动测试装置对220kV线路间隔进行继电保护测试故障模拟

得到,当智能变电站继电保护测试装置添加实时故障诊断模块后测试过程中遇到故障,将会把得到的故障告警数据集和对应故障类型扩充进历史告警数据库中,用于下次模型训练。

4.根据权利要求3所述的智能变电站故障诊断方法,其特征在于:所述步骤四中,故障告警数据集预处理过程:首先得到某一故障断面下的特征集;其次将所有故障特征集汇总一起;然后进行删除重复数据、归一化及白化处理;最后喂入LSTM神经网络。

5.根据权利要求4所述的智能变电站故障诊断方法,其特征在于:所述步骤六中,构建模型步骤:先定义特征数据和标签数据占位符;然后定义模型函数,包括定义线性关系系数矩阵 w 和偏倚向量 b ;最后构建输入层、构建隐藏层、构建输出层。

6.根据权利要求5所述的智能变电站故障诊断方法,其特征在于:所述步骤七中,训练模型步骤:先设置训练超参数,训练轮数`train_epochs`、单次训练样本数`batch_size`、学习率`learning_rate`;然后定义交叉熵损失函数,创建优化器,定义F1-score;最后声明会话开始迭代训练。

一种基于LSTM神经网络的智能变电站故障诊断方法

技术领域

[0001] 本发明涉及数字式继电保护试验装置的自动化领域,具体涉及一种基于LSTM神经网络的智能变电站故障诊断方法。

背景技术

[0002] 智能变电站是由智能化的一次设备和网络化的二次设备分层构建的,其中包括过程层、间隔层和站控层,在智能变电站继电保护装置的现场调试以及出厂联调阶段中,使用的最主要的调试工具还是智能变电站数字式继电保护试验装置。2016年,由四川省电科院牵头,通过将保护测试功能与站控层功能集成,并将保护测试模型、站控层模型等技术结合,成功研究并制造出了第一代智能变电站数字式继电保护试验装置。

[0003] 目前试验装置还存在以下不足:(1)数字式继电保护试验装置不能实现对所有保护装置的远程控制;(2)数字式继电保护试验装置不能自动设定故障参数;(3)导入scd文件后,继电保护测试人员不能检查保护装置的一致性和测试人员配置信息的一致性;(4)无法对测试过程中出现的故障自动进行诊断,人工进行故障排查耗费大量时间。

[0004] 针对第四点不足提出了一种基于LSTM神经网络的单间隔继电保护测试故障诊断方法,进一步扩充数字式继电保护试验装置的功能,使其能够实时诊断继电保护测试过程中存在的故障。目前针对变电站故障诊断主要是技术人员依据通信报文装置辅助判别异常原因,但数据量太大且缺乏有效手段分析故障特征,导致许多重要信息被遗漏,故而无法有效用于继电保护测试过程中的实时诊断。

[0005] 《智能变电站二次系统故障诊断方法研究》提出基于变电站内综合自动化系统告警信息,依据装置自检告警信息确定装置功能程序运行状态,依据变电站内设备监控告警信息确定设备本体工作状态,建立了故障推断知识库和推理过程为故障诊断理清了思路,但主要还是依靠人工进行推断,推断过程机械繁杂,耗时长。《计及二次系统的智能变电站故障诊断方法研究》提出了贝叶斯算法为基本推理计算方法和信息融合方法的智能变电站故障元件诊断方法,实现了智能变电站故障精确诊断,简化了诊断过程,但对智能变电站故障过程中保护和断路器的动作情况依旧依靠知识库推理来实现诊断,《智能变电站继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术》通过网络报文记录分析装置或保护状态监测及诊断装置,将保护设备及二次回路各环节发生故障时的典型告警信息收集、分析、上传,构建一套继电保护二次回路在线监测与故障诊断系统,除了能对网络链路告警有效诊断故障点,其他告警情况主要还是运用知识库推理实现故障诊断。由于变电站出现故障时有海量报文信息和告警信息,加上数据集噪音的干扰,导致一些重要信息被淹没,以上方法都很难处理所有告警数据并从中找到关键数据来快速的实时诊断故障。

[0006] 针对以上不足,提出了一种基于LSTM神经网络的单间隔继电保护测试故障诊断方法,采用LSTM神经网络对从SCD文件中解析出来信息和测试过程中的实时故障数据进行有监督的深度学习,利用tanh与sigmoid激活函数进行训练,采用F1-score评价标准对模型效果进行评价,并以220kV智能变电站220kV线路间隔为例进行模型性能测试,可有效的诊断

测试过程中出现的问题,从而大幅提升数字式继电保护试验装置的测试效率。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种基于LSTM神经网络的智能变电站继电保护测试故障实时诊断方法,解决了现有智能变电站继电保护测试装置无法实时诊断故障的问题。

[0008] 为解决上述的技术问题,本发明采用以下技术方案:

[0009] 一种基于LSTM神经网络的智能变电站故障诊断方法,包括以下步骤:

[0010] 步骤一,对智能变电站继电保护故障告警信息进行分类管理;分为四类:即采样故障类、跳闸故障类、通信故障类和本体故障类。

[0011] 步骤二,对智能变电站单间隔继电保护测试故障进行分类,打标签;

[0012] 步骤三,获取智能变电站单间隔继电保护测试故障告警数据集;

[0013] 步骤四,把告警数据集进行删除重复数据、零均值、归一化的预处理;

[0014] 步骤五,将预处理后的故障告警数据集分为互斥的训练集和测试集,其中训练集占故障告警数据集70%、测试集占故障告警数据集30%;

[0015] 步骤六,构建LSTM神经网络故障诊断模型;

[0016] 步骤七,把训练集和对应故障类型输入LSTM神经网络进行训练;

[0017] 步骤八,把测试集输入训练好的模型,输出故障类型,进行评估得到损失值和F1-score值;

[0018] 步骤九,判断训练效果是否理想,若损失值大于0.0001返回步骤六;若小于0.0001停止训练,输出F1-score值,保存模型;

[0019] 步骤十,保存历史评估F1-score值最大模型,用于智能变电站单间隔继电保护测试故障诊断,结束。

[0020] 进一步地,所述步骤一中,智能变电站单间隔继电保护测试故障诊断对象包括继电保护试验装置、合并单元、智能终端和保护装置、通信网络以及通信设备;

[0021] (1) 采样故障类:即与SV报文采样通信回路有关的所有设备所发生的故障和异常。设备有合并单元、保护装置、网络分析仪。

[0022] (2) 跳闸故障类:即与GOOSE报文通信回路有关的所有设备所发生的故障和异常。涵盖的设备有保护装置、智能终端。

[0023] (3) 通信故障类:即SV报文和GOOSE报文通信链路以及相关设备通信开入、开出端口发生故障或异常。涵盖的设备有保护装置、合并单元、智能终端和光纤链路。

[0024] (4) 本体故障类:即二次设备自身所发生的故障,包括设备存储器出错、设备失电以及设备CPU插件异常,涉及设备本体的故障都认为是本体故障类。

[0025] 进一步地,所述步骤二中,根据故障诊断对象可以对故障进行分类。将分类好的故障打标签,用于模型训练和故障输出。

[0026] 进一步地,所述步骤三中,智能变电站的单间隔保护测试故障告警数据集,是从历史故障告警数据库中获得,数据库中原始数据是利用现有的继电保护自动测试装置对220kV线路间隔进行继电保护测试故障模拟得到,当智能变电站继电保护测试装置添加实时故障诊断模块后测试过程中遇到故障,将会把得到的故障告警数据集和对应故障类型扩充进历史告警数据库中,用于下次模型训练。

[0027] 进一步地,所述步骤四中,故障告警数据集预处理过程:首先得到某一故障断面下的特征集;其次将所有故障特征集汇总一起;然后进行删除重复数据、归一化及零均值处理;最后喂入LSTM神经网络。

[0028] 进一步地,所述步骤六中,构建模型步骤:先定义特征数据和标签数据占位符;然后定义模型函数,包括定义线性关系系数矩阵 w 和偏倚向量 b ;最后构建输入层、构建隐藏层、构建输出层。

[0029] 进一步地,所述步骤七中,训练模型步骤:先设置训练超参数,训练轮数 $train_epochs$ 、单次训练样本数 $batch_size$ 、学习率 $learning_rate$;然后定义交叉熵损失函数,创建优化器,定义F1-score;最后声明会话开始迭代训练。

[0030] 进一步地,所述步骤八中,模型评价标准F1-score,是评价标准F-score的特例。F-score综合考虑Precision(精确率)和Recall(召回率)的调和值,计算公式:

$$[0031] \quad F - Score = (1 + \beta^2) \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{\beta^2 \cdot Precision + Recall} \quad (8)$$

[0032] 其中, $\begin{cases} \beta = 1, \text{精确率和召回率同样重要;} \\ \beta < 1, \text{精确率更重要;} \\ \beta > 1, \text{召回率更重要。} \end{cases}$ 。

[0033] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0034] (1) 开拓一种新的故障诊断方法,利用新的工具:LSTM神经网络,来解决常规方法难以处理海量数据并从中找到关键信息的问题,提高了故障诊断的准确度与效率。

[0035] (2) 在智能变电站继电保护测试装置上增加故障自动诊断功能,解决了无法对测试过程中出现的故障自动进行诊断问题。提高智能变电站继电保护装置测试的效率,减少测试人员的工作负担、减少人为出错,提高了智能变电站常规继电保护自动测试的智能化水平。

[0036] (3) 在智能变电站继电保护测试装置上增加从网上直接获取站控层信号功能,使得信号获取更全面、便捷,提高了智能变电站常规继电保护自动测试的智能化水平。

附图说明

[0037] 图1为本发明实施例故障诊断模型LSTM神经网络结构图。

[0038] 图2为本发明实施例故障诊断模型LSTM神经网络遗忘门结构图。

[0039] 图3为本发明实施例故障诊断模型LSTM神经网络输入门结构图。

[0040] 图4为本发明实施例故障诊断模型LSTM神经网络细胞状态结构图。

[0041] 图5为本发明实施例故障诊断模型LSTM神经网络输出门结构图。

[0042] 图6为本发明实施例一个典型的智能变电站220kV线路间隔拓扑图。

[0043] 图7为本发明实施例单间隔继电保护测试故障诊断框图。

具体实施方式

[0044] 为了能够更清楚地理解本发明的上述目的、特征和优点,下面结合附图和具体实施方式对本发明进行进一步的详细描述。需要说明的是,在相互不冲突的情况下,本申请的

实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0045] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明,但是,本发明还可以采用其他不同于在此描述范围内的其他方式来实施,因此,本发明的保护范围并不受下面公开的具体实施例的限制。

[0046] 图6示出了本发明一种基于LSTM神经网络的智能变电站故障诊断方法的一个典型智能变电站220kV线路间隔拓扑图,图7示出了故障诊断框架,一种基于LSTM神经网络的智能变电站故障诊断方法。

[0047] 一种基于LSTM神经网络的智能变电站故障诊断方法,包括以下步骤:

[0048] 步骤一,对智能变电站继电保护故障告警信息进行分类管理;分为四类:即采样故障类、跳闸故障类、通信故障类和本体故障类。

[0049] 告警信息分类管理:由于智能变电站的告警信息种类繁多且数量巨大,为了能更好的加深运维人员和测试人员对告警信息的理解,在建立故障诊断模型之前需要对其进行分类管理。

[0050] 步骤二,对智能变电站单间隔继电保护测试故障进行分类,打标签;

[0051] 步骤三,获取智能变电站单间隔继电保护测试故障告警数据集;

[0052] 步骤四,把告警数据集进行删除重复数据、零均值、归一化等预处理;

[0053] 步骤五,将预处理后的故障告警数据集分为互斥的训练集和测试集,其中训练集占故障告警数据集70%、测试集占故障告警数据集30%;

[0054] 步骤六,构建LSTM神经网络故障诊断模型;

[0055] 步骤七,把训练集和对应故障类型输入LSTM神经网络进行训练;

[0056] 不走八,把测试集输入训练好的模型,输出故障类型,进行评估得到损失值和F1-score值;

[0057] 步骤九,判断训练效果是否理想,若损失值大于0.0001返回步骤六;若小于0.0001停止训练,输出F1-score值,保存模型;

[0058] 步骤十,保存历史评估F1-score值最大模型,用于智能变电站单间隔继电保护测试故障诊断,结束。

[0059] 进一步地,所述步骤一中,

[0060] (1) 采样故障类:即与SV报文采样通信回路有关的所有设备所发生的故障和异常。这些故障或异常直接影响SV报文的发布和接收。主要涵盖的设备有合并单元、保护装置、网络分析仪。

[0061] (2) 跳闸故障类:即与GOOSE报文通信回路有关的所有设备所发生的故障和异常。这些故障或异常直接影响GOOSE报文的发布和接收。主要涵盖的设备有保护装置、智能终端。

[0062] (3) 通信故障类:即SV报文和GOOSE报文通信链路以及相关设备通信开入、开出端口发生故障或异常。这些故障或异常通常影响的是SV报文和GOOSE报文的接受和发送。主要涵盖的设备有保护装置、合并单元、智能终端和光纤链路。

[0063] (4) 本体故障类:即二次设备自身所发生的故障,包括设备存储器出错、设备失电以及设备CPU插件异常等,凡是仅涉及设备本体的故障都认为是本体故障类。

[0064] 根据本发明一种基于LSTM神经网络的智能变电站故障诊断方法,智能变电站单间

隔继电保护测试故障诊断对象主要包括继电保护试验装置、合并单元、智能终端和保护装置、通信网络以及通信设备。表1示出了故障告警特征量,共计97个告警信息特征量。

[0065] 表1故障告警特征量

[0066]

互感器断线告警	重合闸A相动作	合并单元开入自检回路出错
保护装置EEPROM错误	重合闸B相动作	合并单元开入输入不正常
保护装置FLASH错误	重合闸C相动作	合并单元GOOSE数据异常
保护装置RAM自检出错	重合闸投入控制字	合并单元GOOSE中断
保护装置SRAM错误	保护装置双AD采样不一致	合并单元GOOSE总告警
保护装置CPU插件错误	保护装置采样数据异常	合并单元MU发送品质无效
保护装置故障	合并单元装置异常	保护装置SV总报警
保护装置自检告警	合并单元装置自检异常	差动保护闭锁
保护装置运行异常	合并单元自检告警	保护装置接收品质无效
保护装置GOOSE板EEPROM操作错误	合并单元双位置输入不一致	合并单元SV总报警
保护装置GOOSE板双口RAM操作错误	保护装置闭锁	保护装置动作
智能终端GOOSE通信中断	断路器正确动作	智能终端反馈
智能终端GOOSE无开入信息	合并单元SV板x网异常	保护装置开入通信中断
智能终端开入路异常	合并单元SV板通讯中断	保护装置开出通信中断
智能终端开入输入不正常	合并单元SV通信中断	保护装置传动状态未复归
智能终端GOOSE中断	合并单元开出通讯中断	保护装置开入击穿
保护装置GOOSE板X网异常	保护装置采样中断报警	保护装置开入自检回路出错
保护装置GOOSE板通信中断	保护装置SV总告警	保护装置开入EEPROM出错
保护装置GOOSE通信中断	保护装置SV通信中断	保护装置过负荷告警
交换机检测GOOSE链路中断	保护装置SV板通讯中断	I1A
智能终端GOOSE总中断	保护装置SV板x网异常	I1B
智能终端GOOSE板x网异常	保护装置开入输入不正常	I1C
智能终端装置异常	保护装置开入异常	U1A
智能终端GOOSE数据异常	交换机检测链路中断	U1B
智能终端开入自检回路出错	通道无采样报文	U1C
智能终端开出检验出错	网络分析仪采样中断	I2A
重合闸充电完成	合并单元SV数据异常	I2B
动作时间	合并单元SV总告警	I2C
保护装置定值	合并单元SV数据无效	U1A
重合闸方式:单相	合并单元采样异常	U1B
闭锁重合	合并单元SV中断	U1C
重合闸方式:三相	合并单元同步异常	
重合闸方式:综合	合并单元同步信号中断	

[0067] 所述步骤二中,智能变电站单间隔继电保护测试故障诊断对象主要包括测试仪、合并单元、保护装置、智能终端、通信网络以及通信设备,根据故障诊断对象可以对故障进行分类。将分类好的故障打标签,用于模型训练和故障输出。本发明将智能变电站单间隔继电保护测试故障分为了30类,根据步骤一中故障告警特征量和故障类型可梳理相关推理知识库,表2示出了故障诊断推理知识库。

[0068] 表2故障诊断推理知识库

序号	故障原因	特征信息
1	合并单元双采样模块故障	保护装置双 AD 采样不一致、保护装置采样数据异常、合并单元自检告警
2	合并单元 SV 板故障	合并单元 SV 板 x 网异常、合并单元 SV 板通讯中断、合并单元开出通讯中断
3	合并单元输出光口故障（合保）	保护装置采样中断报警、合并单元装置异常、保护装置开入异常
4	合并单元采样失步	合并单元同步异常、保护装置不动作、智能终端无反馈、合并单元同步信号中断
5	合并单元输入光口故障（合-交换机）	合并单元开入自检回路出错、合并单元开入输入不正常、合并单元 GOOSE 数据异常
6	合并单元输入光口故障（合-测试仪）	合并单元开入自检回路出错、合并单元开入输入不正常、保护装置 SV 总报警
7	合并单元输入光口故障（合-对母合）	合并单元开入自检回路出错、合并单元开入输入不正常、差动保护闭锁
8	测试仪输出端口异常	合并单元 SV 数据异常、保护装置 SV 总报警、保护装置不动作、智能终端无反馈
[0069] 9	测试仪输出量不足	保护装置不动作、智能终端无反馈、断路器不动作、重合闸不动作
10	测试仪没有添加开关位置	保护装置动作、智能终端反馈、断路器不动作、重合闸不动作
11	纵联通道故障	保护装置开入通信中断、保护装置开出通信中断、保护装置传动状态未复归
12	保护装置内部存储器故障	保护装置 EEPROM 错误、保护装置 FLASH 错误、保护装置 RAM 自检出错
13	保护装置输入端口故障（合保）	保护装置开入通信中断、保护装置采样中断报警、保护装置 SV 总告警
14	保护装置输出端口故障（保智）	保护装置开出通讯中断、智能终端 GOOSE 通信中断、智能终端 GOOSE 无开入信息
15	保护装置 GOOSE 板故障	保护装置 GOOSE 板 X 网异常、保护装置 GOOSE 板通信中断、保护装置 GOOSE 通信中断
16	保护装置 SV 板故障	保护装置 SV 板 x 网异常、保护装置 SV 板通讯中断、保护装置 SV 通信中断
17	智能终端 GOOSE 板故障	智能终端 GOOSE 板 x 网异常、智能终端 GOOSE 通信中断、智能终端 GOOSE 无开入信息
18	智能终端输入端口故障（保智）	智能终端 GOOSE 板 x 网异常、智能终端 GOOSE 通信中断、智能终端开入路异常

	19	智能终端输出端口故障	智能终端装置异常、智能终端开出检验出错、断路器不动作
	20	三相重合闸回路故障	断路器动作、重合闸方式：三相、重合闸充电完成、重合闸投入控制字 1
	21	单相重合闸回路故障	断路器动作、重合闸方式：单重/综重、重合闸充电完成、重合闸投入控制字 1
	22	三相重合闸未投入	断路器动作、重合闸方式：三相、重合闸充电完成、重合闸投入控制字 0
	23	单相重合闸未投入	断路器动作、重合闸方式：单重/综重、重合闸充电完成、重合闸投入控制字 0
[0070]	24	单相重合闸充电未完成	断路器动作、重合闸方式：三相、重合闸充电未完成、重合闸投入控制字 1
	25	三相重合闸充电未完成	断路器动作、重合闸方式：单重/综重、重合闸充电未完成、重合闸投入控制字 1
	26	三相短路器异常	断路器不动作、重合闸方式：三相、闭锁重合
	27	该相断路器异常（跳单不跳）单重	断路器不动作、重合闸方式：单相、闭锁重合
	28	该相断路器异常（跳单不跳）综重	断路器不动作、重合闸方式：三相、闭锁重合
	29	两侧断路器机械异常（该跳单跳三）单重	断路器动作、重合闸方式：单相、闭锁重合
	30	两侧断路器机械异常（该跳单跳三）综重	断路器动作、重合闸方式：三相、闭锁重合

[0071] 所述步骤三中，智能变电站的单间隔保护测试故障告警数据集，是从历史故障告警数据库中获取，数据库中原始数据是利用现有的继电保护自动测试装置对220kV线路间隔进行继电保护测试故障模拟得到，当智能变电站继电保护测试装置添加实时故障诊断模块后测试过程中遇到故障，将会把得到的故障告警数据集和对应故障类型扩充进历史告警数据库中，用于下次模型训练。

[0072] 其中，原始数据集共由3000组故障样本组成，30种故障类型各有100组样本。

[0073] 所述步骤四中，告警数据预处理目的：为了尽量缩减进行深度学习时的训练量，同时将训练数据按比例缩小到 $[0, 1]$ 的范围内使得LSTM神经网络的参数值得到优化，提升模型的收敛速度和模型的精度。

[0074] 故障告警数据集预处理过程：首先得到某一故障断面下的特征集；其次将所有故障特征集汇总一起；然后进行删除重复数据、归一化及零均值等处理；最后喂入LSTM神经网络。

[0075] 其中，删除重复数据，是用于防止相同数据重复训练；零均值，是将每一维原始数据减去每一维数据的平均值，将结果代替原始数据；归一化，是将不同维度的数据归一到相同的数值区间，本发明将每一维数据的最大最小值为1和0，此时认为不同的维度的数据具有相同的重要性。

[0076] 所述步骤五中，表3示出了每种故障类型样本的训练集和测试集分布情况。

[0077] 表3样本数据分布

[0082] LSTM神经网络模型是长短期记忆网络,一种时间递归神经网络。它解决了RNN神经网络梯度消失的问题,且能够学习长期依赖性。它的内部存在着循环,用来保持信息的延续性,适用于较长时间间隔和较长延迟的重要时间序列的处理和预测。而智能变电站故障数据集由海量告警向量组成,具有时间相关性,这与LSTM神经网络的特性是一致的。

[0083] 图1示出了LSTM结构,包括遗忘门、输入门、输出门及细胞状态,这些结构可以解决RNN的梯度消失问题。

[0084] 遗忘门输入包括上一序列的隐藏状态 $h^{(t-1)}$ 和本序列数据 $x^{(t)}$,通过激活函数sigmoid,得到遗忘门的输出 $f^{(t)}$ 。由于sigmoid的输出 $f^{(t)}$ 在 $[0,1]$ 之间,因此这里的输出 $f^{(t)}$ 代表了遗忘上一层隐藏细胞状态的概率,图2示出了LSTM遗忘门结构。用数学表达式即为:

$$[0085] \quad f^{(t)} = \sigma(W_{fh}^{(t-1)} + U_{fx}^{(t)} + b_f) \quad (1)$$

[0086] 其中 b_{W_f}, U_{f_x}, b_f 为线性关系的系数和偏倚, σ 为sigmoid激活函数。

[0087] 输入门由两部分组成,第一部分使用了sigmoid激活函数,输出为 $i^{(t)}$,第二部分使用了tanh激活函数,输出为 $a^{(t)}$,图3示出了LSTM输入门结构。用数学表达式即为:

$$[0088] \quad i^{(t)} = \sigma(W_i h^{(t-1)} + U_i x^{(t)} + b_i) \quad (2)$$

$$[0089] \quad a^{(t)} = \tanh(W_a h^{(t-1)} + U_a x^{(t)} + b_a) \quad (3)$$

[0090] 其中 $W_i, U_i, b_i, W_a, U_a, b_a$ 为线性关系的系数和偏倚, σ 为sigmoid激活函数。

[0091] 细胞状态 $C^{(t)}$ 由两部分组成,第一部分是 $C^{(t-1)}$ 和遗忘门输出 $f^{(t)}$ 的乘积,第二部分是输入门的 $i^{(t)}$ 和 $a^{(t)}$ 的乘积,图4示出了LSTM细胞状态结构。用数学表达式即为:

$$[0092] \quad C^{(t)} = C^{(t-1)} \circ f^{(t)} + i^{(t)} \circ a^{(t)} \quad (4)$$

[0093] \circ 为Hadamard积。

[0094] 对于输出门隐藏状态 $h^{(t)}$ 的更新由两部分组成,第一部分是 $o^{(t)}$,它由上一序列的隐藏状态 $h^{(t-1)}$ 和本序列数据 $x^{(t)}$,以及激活函数sigmoid得到,第二部分由隐藏状态 $C^{(t)}$ 和tanh激活函数组成,图5示出了LSTM输出门结构。用数学表达式即为:

$$[0095] \quad o^{(t)} = \sigma(W_o h^{(t-1)} + U_o x^{(t)} + b_o) \quad (6)$$

$$[0096] \quad h^{(t)} = o^{(t)} \circ \tanh(C^{(t)}) \quad (7)$$

[0097] 所述步骤八中,模型评价标准F1-score,是评价标准F-score的特例。F-score综合考虑Precision(精确率)和Recall(召回率)的调和值,计算公式:

$$[0098] \quad F - Score = (1 + \beta^2) \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{\beta^2 \cdot Precision + Recall} \quad (8)$$

[0099] 其中,
$$\begin{cases} \beta = 1, \text{精确率和召回率同样重要;} \\ \beta < 1, \text{精确率更重要;} \\ \beta > 1, \text{召回率更重要。} \end{cases}$$

[0100] 所以,F1-score指 $\beta=1$,精确率和召回率同样重要。对于智能变电站单间隔继电保护测试故障诊断精确率和召回率同样重要,于是用F1-score作为模型优劣评价标准。

[0101] 对于交叉熵损失函数,交叉熵的值越小,模型预测效果就越好,计算公式:

$$[0102] \quad H(p, q) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log(q(x_i)) \quad (9)$$

[0103] 其中, $p(x)$ 为真实概率分布, $q(x)$ 为预测概率分布。

[0104] 尽管已描述了本发明的优选实施例,但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念,则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以,所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本发明范围的所有变更和修改。

[0105] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

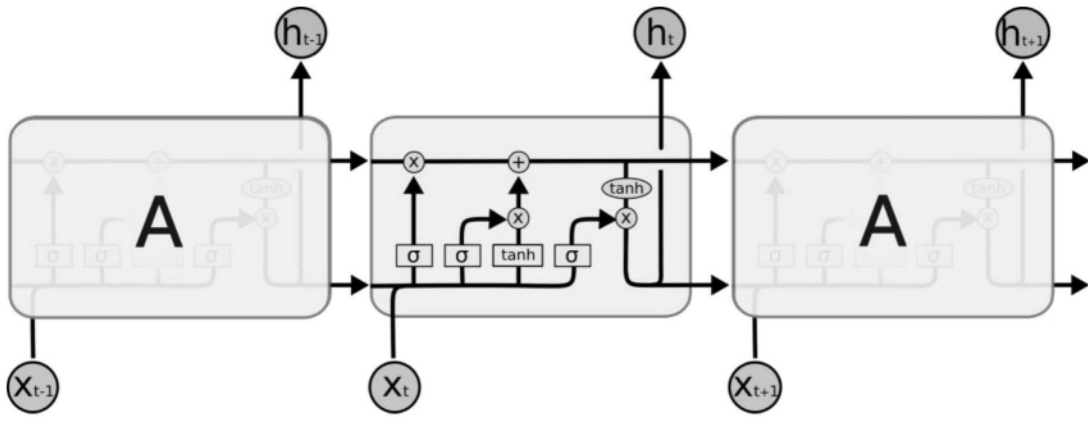


图1

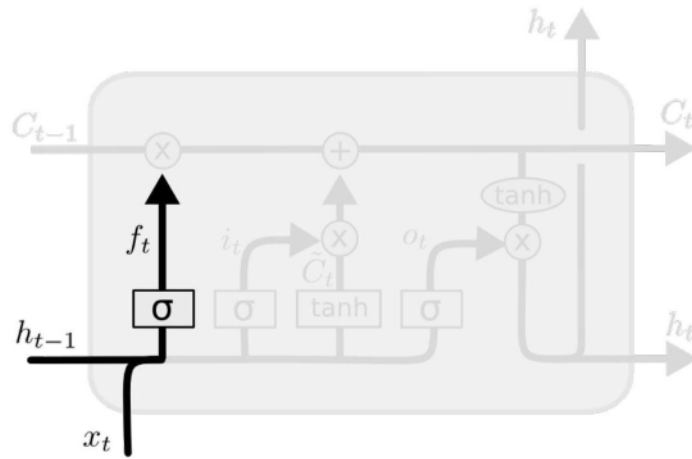


图2

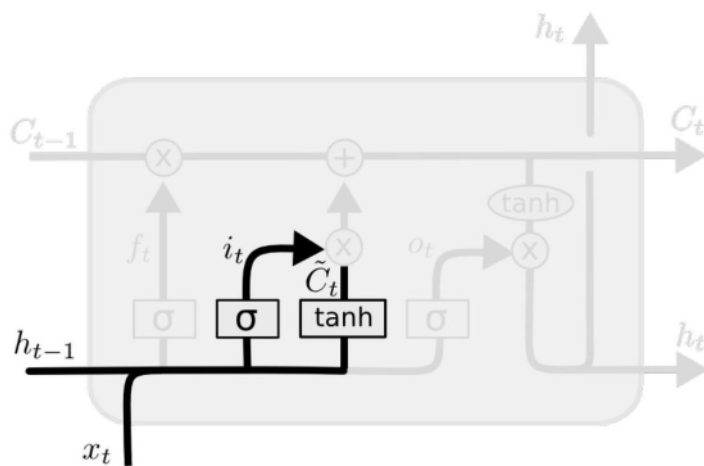


图3

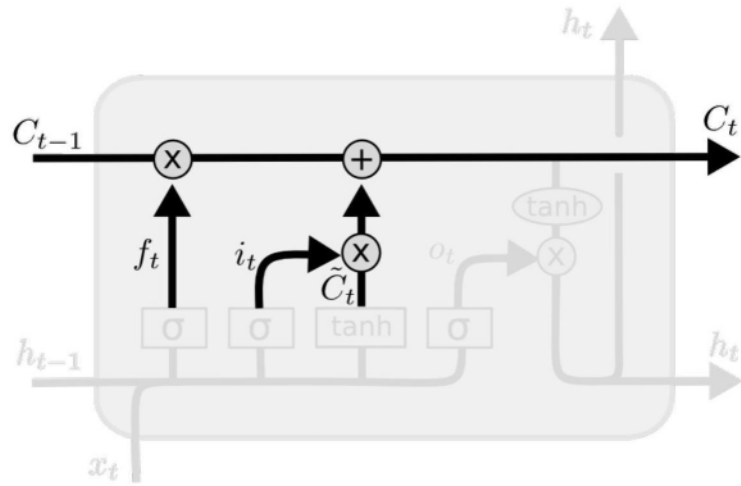


图4

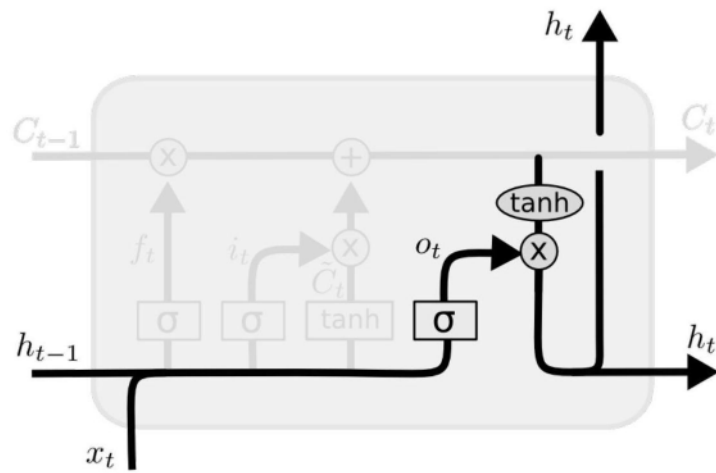


图5

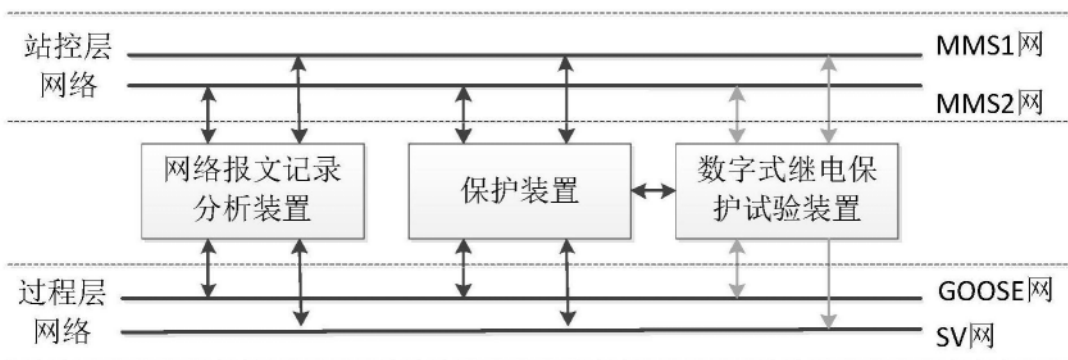


图6

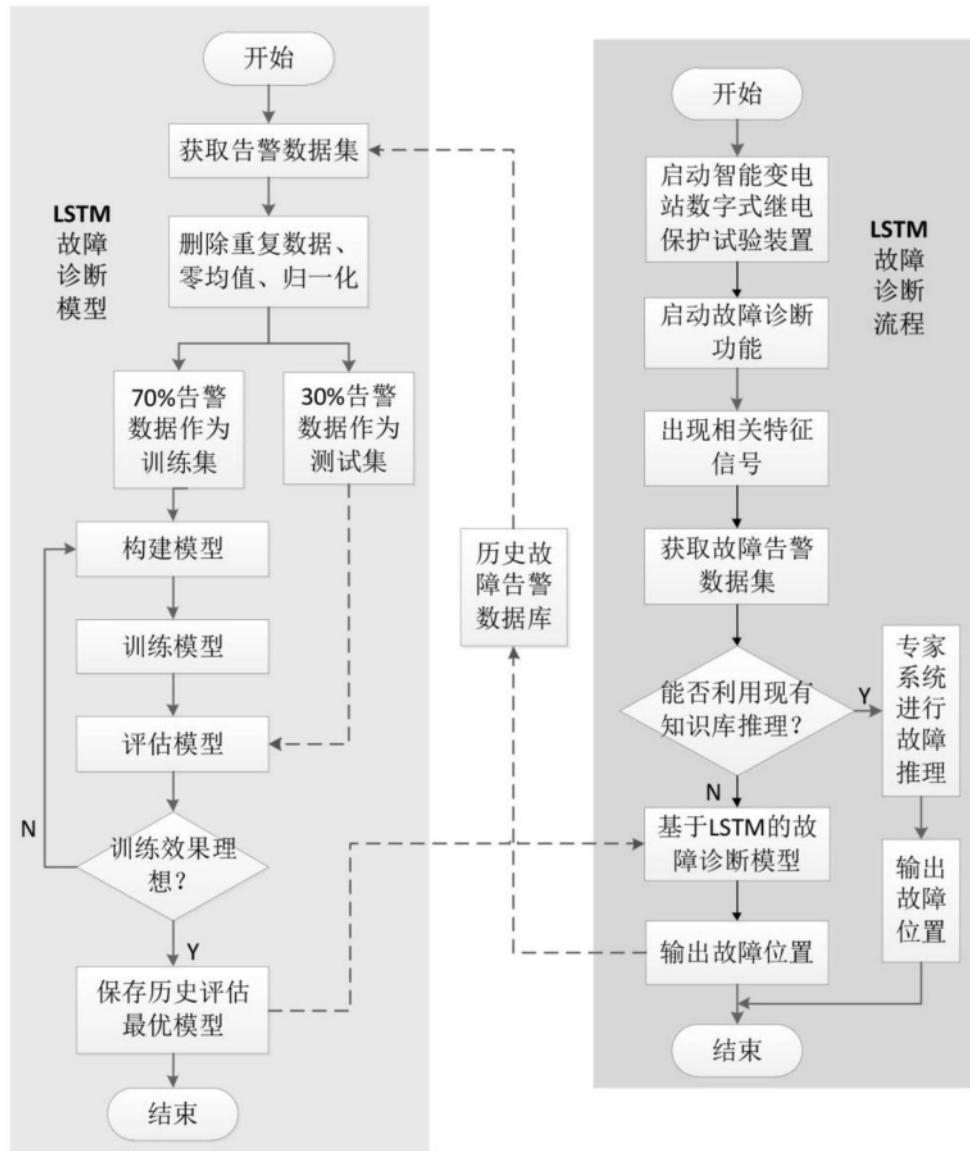


图7