基于D－S证据理论融合算法的电缆沟火灾报警系统研究

针对当前变电站电缆沟火灾发现不及时，火灾报警误差大的缺陷提出了基于D－S证据理论融合算法的电缆沟火灾报警方法。电缆沟火灾监测中运用温度、CO浓度以及烟雾浓度等三个传感器同时完成对火灾特征的监测。与此同时，利用D－S证据理论融合算法完成对三个火灾参数的融合，进而获得火灾报警的最终决策。通过对多传感器火灾监测报警的仿真分析，其结果证明D－S证据理论数据融合算法能够使得火灾迹象的收敛速度很大程度上获得提升，这不仅仅完成了快速报警的目的，同时还使得火灾报警的误报率很大程度上得到缩减。

王海洋／国网冀北电力有限公司平泉市供电分公司

王海洋／助理工程师

关键词／Keywords
电缆沟·
火灾报警·
多传感器·
数据融合·
D－S证据理论·

0 引言

通常情况下电缆在变电站中经常都是集中敷设在电缆沟内，伴随着用电需求的提高，电缆沟里的电缆数量越来越多同时也越来越长，这在很大程度上提升了其火灾事故的发生几率[1-2]。当电缆沟出现火灾情况，其将在很大程度上导致大面积的电缆烧毁。与此同时，其在较短的时间中不能恢复生产，进而导致非常严重的经济损失。所以电缆的安全保护在很大程度上已经成为亟待解决的问题[3]。

在电缆沟火灾报警系统中运用温度、烟雾以及空气等传感器互相结合的形式，其分别代表不同角度的参数信息，温度传感器能够实时收集现场设备各个时间的温度状况，烟雾传感器能够实时收集因为温度太高时导致的因燃火及明火燃烧而出现的烟雾浓度状况，而空气传感器则能够收集因燃烧或气体泄漏导致的空气组分百分比含量的改变[4]。另外如果单独分析这三个参数，所获得的信息相对来说非常片面，从而在很大程度上易引起错误的判断，相反若把这三个参数相互联系并利用专门的数据融合算法，将在很大程度上提升故障判别的准确度和有效性[5]。

1 电缆沟管火灾报警系统总体及硬件结构设计

1.1 火灾监测系统总体结构

依照现场数据采集以及传输的需求，本文研究设计的基于D－S证据理论融合的火灾检测系统总体结构如图1所示。

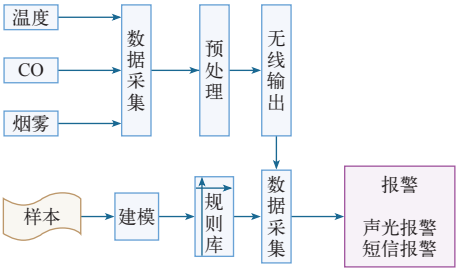

图1 系统整体结构框图

此系统运用温度、CO和烟雾三种传感器实时采集监控场所的原始数据参数，同时完成对采集数据在一定区间中归一化的预处理操作[6]，通过无线网络将其输送到监控中心计算机。计算机完成对火灾监测的建模，同时完成对样本数据的算法建模，进而产生规则库。针对完成预处理的采集数据依照建立的规则库中的规则完成火灾监测，同时输出监测结果。

1.2 硬件结构

基于D－S证据理论融合的火灾检测系统硬件结构如图2所示，以数据局域网为载体，连接中心服务器、采集模块和作业模块三大结构。通过中心服务器的算法融合实现对灾情的同步监测、同步处理和同步动作。

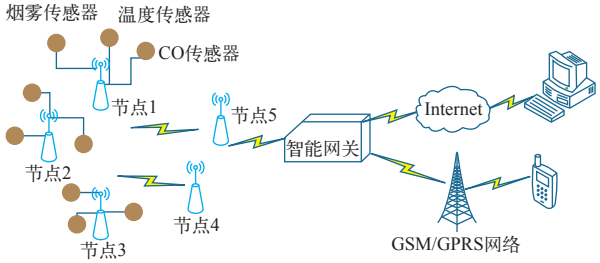

图2 系统硬件结构图

（1）中心服务器

中心云服务器作为整个系统的大脑，承担着大数据存储和统计功能。通过数据局域网作为载体，服务器上可接受来自传感器的电缆沟环境数据，根据对数据的海量存储，分析历史运行参数图，并及时甄别出电缆异常运行（过载、火灾）征兆；下可发送灾情处置信号，在电缆沟内温度出现状态异常时，对运维人员发送目标位置、报警信号等信息。在电缆沟内出现火情时，直接指挥分布式灭火包动作，从而及时控制火情。系统数据处理模型结构如图3所示。

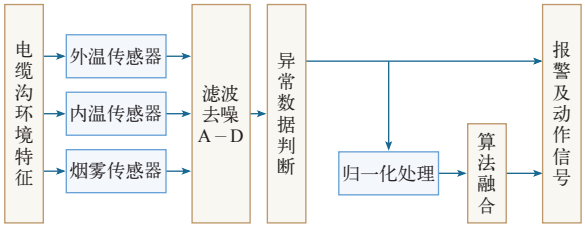

图3 系统数据处理模型结构

（2）环境参数采集模块

采集终端作为下放到设备的分布式终端，承担着基础数据的获取任务。采集终端由温度传感器、CO传感器和烟雾传感器组成。三者采集的环境参数通过数据局域网回传中心服务器，烟雾传感器如图4所示。

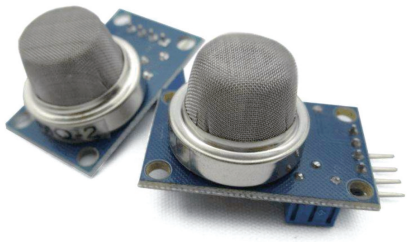

图4 烟雾传感器

（3）分布式作业模块

高压灭火包装载有抑制电气火灾能力的气溶胶剂，采取对关键位置的点对点看护，可以在中央服务器指挥下逐步投入使用，利用气溶胶蒸发的物理降温以及强排可燃助燃气体的方式抑制燃烧和爆闪，实现了精确抑火、经济运作的目标。灭火包内介质消耗完毕后可以模块化更换，对全系统影响小，电缆沟火灾抑制模块如图5所示。

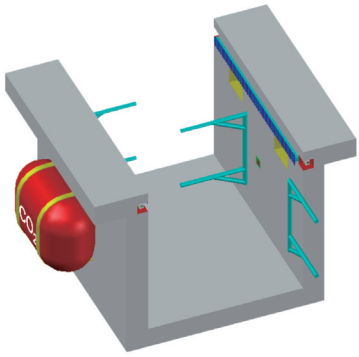

图5 电缆沟火灾抑制模块

3 基于D－S证据理论的火灾报警方法

识别框架Θ是一个互斥的非空有限集合，其包括完成对某个事件全部可能假设的断定。其可表示成：$\Theta=\{F_1,F_2,\cdots,F_n\}$，其包含$n$个可能的假设，$F_1$代表“假定$F_1$出现”。运用D－S告警融合分析算法完成对每种可能假设的信任力度的估计[7]。

1）基本概率分配（BPA）即m函数为

$$m:2^{\Theta}\rightarrow[0,1]$$

同时满足：不可能时间的基本概率等于0，即$m(\phi)=0$；2^{Θ}中全部元素的基本概率之和等于1，即$\sum_{x\subseteq\Theta}m(x)=1$。

2）信任函数（Belief functtion，Bel）：D－S融合算法运用一个区间代表对假设的支持程度，其下限则是Bel，于识别框架Θ上信任函数为

$$\mathrm{Bel}(A)=\sum_{B\subseteq A}m(B)$$

3）似然函数（Plausibility function，Pl）：其为D－S算法的融合结论区间的上限，于识别框架Θ上似然函数

$$\mathrm{Pl}(A)=\sum_{B\cap A\neq\phi}m(B)$$

识别框架Θ中的某个假设A，依照BPA分别运算获得其Bel(A)及Pl(A)，进而构成信任区间[Bel(A)，Pl(A)]以代表其确认程度，如图6所示。

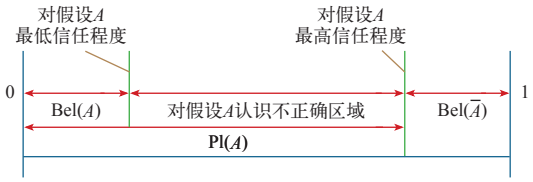

图6　信任函数与似然函数的关系

根据图6能够得知

$$\mathrm{Pl}(X)\geqslant\mathrm{Bel}(X)$$
$$\mathrm{Pl}(X)=1-\mathrm{Bel}(\bar{X})$$

Dempster合成规则为

$$m(C)=m_i(X)\oplus m_j(X)=$$
$$\begin{cases}0 & X\cap Y=\phi\\ \dfrac{\sum\limits_{X\cap Y=C,\forall X,Y\subseteq\Theta}m_i(X)m_j(Y)}{1-\sum\limits_{X\cap Y=C,\forall X,Y\subseteq\Theta}m_i(X)m_j(Y)} & X\cap Y\neq\phi\end{cases}$$
$$i,j=1,2,\cdots,m$$

式中，$m_i(X)$、$m_j(Y)$分别为序列标签频度及关联度识别框架下运算获得的信度函数；C为某类告警[8]。

为了缩减融合算法的复杂度以及在很大程度上提升决策准确度，于识别框架的择取上要相对简便明了，应尽可能少地择取框架内的命题，在这个基础上把火灾迹象识别框架择取成$\Theta=\{F,N\}$，则其幂集2^{Θ}是$\{\Phi,F,N,\Theta\}$，其中F、N分别为有、无火灾迹象，Θ为F和N的并集，即表示可能有也可能无火灾迹象，另外定义U表示火灾的不确定性，其命题如表1所示[9]。

表1　识别框架内各命题含义

F	N	U
有火灾迹象	无火灾迹象	不确定

m_1、m_2和m_3分别为三个传感器的赋值函数。依照规定的识别框架$\{F,N,U\}$，$m_1(F)$、$m_2(N)$和$m_3(U)$分别为温度传感器对应的有、无以及不确定火灾概率赋值函数，同理CO浓度以及烟雾浓度以此类推[10]。D－S证据融合流程如图7所示。

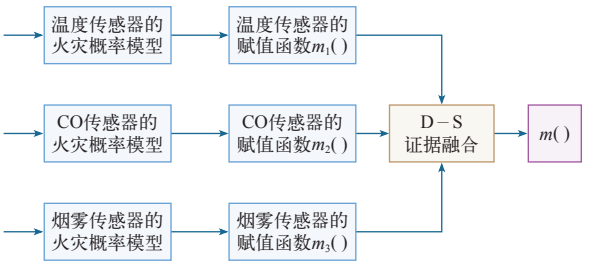

图7　D－S证据融合流程图

D－S证据理论融合的规则在很大程度上符合结合律以及交换律的运算形式，所以在D－S FUSION(A,B)程序中的证据融合顺序在很大程度上不对最后的结果产生扰动，这三个证据能够择取随意两个以完成融合操作，然后获得的结果再完成和第三个证据的融合操作。

表2　三个传感器在各测量周期确定的基本概率赋值

	F	N	U
$m_{11}(\cdot)$	0.598 7	0.161 1	0.240 2
$m_{12}(\cdot)$	0.700 6	0.109 1	0.190 3
$m_{21}(\cdot)$	0.552 3	0.145 8	0.301 9
$m_{22}(\cdot)$	0.401 3	0.217 6	0.381 1
$m_{31}(\cdot)$	0.304 7	0.300 7	0.394 6
$m_{32}(\cdot)$	0.450 2	0.160 3	0.383 4

4　火灾证据融合仿真

本文使用 Matlab7 的D－S证据理论融合工具箱完成对所设计的D－S证据理论融合算法的火灾报警系统的仿真分析，其结果证明D－S证据理论融合算法在很大程度上提升了火灾判定结果的准确性。经过D－S证据理论融合算法训练后获得的收敛效果如图8所示。

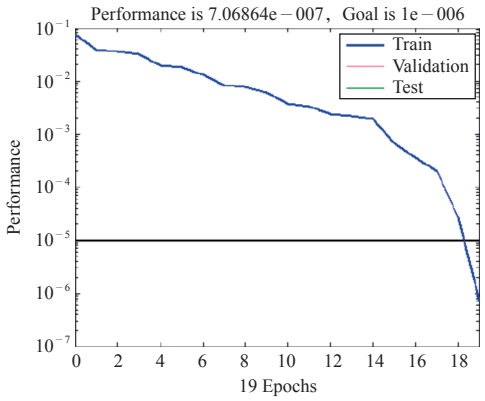

图8 模糊神经网络训练结果

由图8可知，经过该算法训练后能够获得收敛，同时其收敛速度相对很快，另外其准确度在很大程度上达到了0.000 000 7。

综上所述，D－S证据理论融合算法不仅收敛速度快，性能好，而且准确性高。

5 结束语

对D－S证据理论研究分析，其为一种很有效的人工智能算法，通过对获得于不同信息源证据的组合推断，不需要首先验证概率的情况下也能完成决策推理。对多传感器火灾信息的 D－S证据进行理论建模，在Matlab中完成对该模型的仿真分析。其结果表明，此设计算法能够在很大程度上缩减火灾检测的不准确性，提升了火灾报警的准确度。

参考文献

[1] 高志远，曹阳，朱力鹏．智能变电站未来发展的分析方法研究 [J]．电网与清洁能源，2013，29 (2)：11-18．

[2] 张辉，钱怡．变电站火灾报警系统存在问题分析及解决方案 [J]．机电信息，2014 (15)：9-10．

[3] 杨帆，陈茂林，吴迅，等．基于传感器信息融合技术的森林火灾报警系统 [J]．华中科技大学学报：自然科学版，2013 (2)：22-25．

[4] Khaleghi B，Khamis A，Karray F O，et al．Multisensor data fusion：a review of the state-of-the-art [J]．Information Fusion，2013，14 (1)：28-44．

[5] 张成军，阴妍，鲍久圣，等．多源信息融合故障诊断方法研究进展 [J]．河北科技大学学报，2014，35 (3)：213-221．

[6] 王慧，宋宇宁．DS证据理论在火灾检测中的应用 [J]．中国安全科学学报，2016，26 (5)：19-23．

[7] Chen K Y，Chen L S，Chen M C，et al．Using SVM based method for equipment fault detection in a thermal power plant [J]．Computers in Industry，2011，62 (1)：42-50．

[8] 霍柳行．基于信息融合的无线电气火灾预警系统研究 [D]．焦作：河南理工大学，2011．

[9] 王鹏朝．变电设备在线测温故障诊断系统设计及应用 [D]．保定：华北电力大学，2015．

（收稿日期：2018－05－15）EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告