

文章编号:1671-251X(2019)02-0075-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018080012

煤矿带式输送机健康诊断方法

祁瑞敏¹, 王新²

(1. 郑州工业应用技术学院 机电工程学院, 河南 郑州 451150;
2. 河南理工大学 物理与电子信息学院, 河南 焦作 454000)

摘要:针对基于多传感器信息融合的煤矿带式输送机健康诊断方法运用 D-S 证据理论在处理冲突证据时失效的问题,提出了一种基于模糊证据理论的带式输送机健康诊断方法。该方法首先利用多种传感器采集带式输送机信息,并根据隶属度函数获取基本概率赋值,从而提取信息特征;然后通过对冲突证据进行修正并应用 D-S 证据理论的合成规则,实现基于模糊证据理论的信息融合;最后根据决策规则判断带式输送机运行状态。通过实例验证了该方法的有效性。

关键词:煤矿带式输送机;健康诊断;模糊证据理论;多传感器信息融合;D-S 证据理论;基本概率赋值;冲突证据

中图分类号:TD634.1 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20190124.1454.004.html>

Health diagnosis method of coal mine belt conveyor

QI Ruimin¹, WANG Xin²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Zhengzhou University of Industrial Technology, Zhengzhou 451150, China; 2. School of Physics and Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract:In view of problem of invalidation in dealing with conflicting evidence of D-S evidence theory used in health diagnosis method of coal mine belt conveyor based on multi-sensor information fusion, a health diagnosis method of coal mine belt conveyor based on fuzzy evidence theory was proposed. Firstly, information of belt conveyor are collected by use of multi-sensor, and basic probability assignments are obtained according to membership function, so as to extract information feature. Then information fusion based on fuzzy evidence theory is realized by modifying conflicting evidence and applying synthesis rule of D-S evidence theory. Finally, running state of belt conveyor is judged according to decision rule. Effectiveness of the method is verified by an example.

Key words:coal mine belt conveyor; health diagnosis; fuzzy evidence theory; multi-sensor information fusion; D-S evidence theory; basic probability assignment; conflicting evidence

0 引言

带式输送机具有自动化程度高和运输量大等特点,目前已成为应用最广泛、最重要的煤炭运输设备^[1]。带式输送机运行环境恶劣、距离长,会出现火灾、超温、打滑、纵向撕裂、断带等故障,对煤矿安全

生产造成很大影响^[2]。因此,对煤矿带式输送机进行健康诊断尤为重要。

目前,多传感器信息融合技术在带式输送机健康诊断中得到广泛应用,通过对来自多个传感器的信息进行多级别、多方面的处理,可使信息在准确性、可靠性及完备性等方面比单一传感器有明显提

收稿日期:2018-08-06;修回日期:2019-01-18;责任编辑:盛男。

基金项目:河南省科技攻关项目(142102210048)。

作者简介:祁瑞敏(1984—),女,河南开封人,讲师,硕士,主要研究方向为智能控制与信息处理技术,E-mail:qrm2007@126.com。

引用格式:祁瑞敏,王新.煤矿带式输送机健康诊断方法[J].工矿自动化,2019,45(2):75-78.

QI Ruimin, WANG Xin. Health diagnosis method of coal mine belt conveyor[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(2): 75-78.

高,获得对带式输送机运行状态的最佳评估^[3]。文献[4-5]利用 D-S 证据理论将多个传感器采集的信息进行融合,并根据判断规则对带式输送机运行状态进行判断,但未考虑当某个传感器出现异常时提供的信息与其他传感器提供的信息出现冲突,导致 D-S 证据理论失效的问题。鉴此,笔者提出了一种基于模糊证据理论的带式输送机健康诊断方法,可降低冲突证据对诊断结果的影响,提高带式输送机健康诊断的准确性。

1 方法原理

煤矿带式输送机健康诊断方法流程如图 1 所示。首先利用烟雾传感器、温度传感器、速度传感器、压力传感器、霍尔传感器分别采集带式输送机烟雾浓度、温度、转速、压力及张力信号,再进行特征提取,即根据隶属度函数获取对应的基本概率赋值;然后利用基于模糊证据理论的信息融合算法对冲突证据进行修正后实现信息融合;最后根据决策规则进行带式输送机健康诊断。

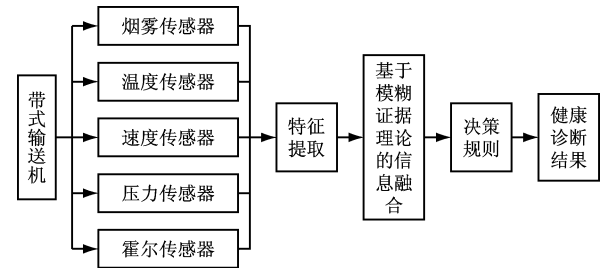


图 1 煤矿带式输送机健康诊断方法流程
Fig. 1 Flow of health diagnosis method of coal mine belt conveyor

1.1 特征提取

模糊理论的基本思想是将普通集合中的绝对隶属关系数字化,使元素对集合的隶属度从原来只能取{0,1}中的值扩充到可取[0,1]区间的任意数,用于对传感器所获信息进行不确定描述^[6]。

假设在论域 U 中的模糊子集 M 是以隶属度函数 μ_M 为表征的集合,即由映射 $\mu_M:U \in [0,1]$ 确定论域 U 的模糊子集 M ^[7-8]。

根据模糊理论,带式输送机健康状态和非健康状态这 2 种不确定状态可由隶属度函数表示^[9-10]。

带式输送机健康状态的隶属度函数:

$$\mu_1 = \begin{cases} 1 & x \leq d_1 \\ \frac{d_2 - x}{d_2 - d_1} & d_1 < x < d_2 \\ 0 & x \geq d_2 \end{cases} \quad (1)$$

带式输送机非健康状态的隶属度函数:

$$\mu_2 = \begin{cases} 0 & x \leq d_1 \\ \frac{x - d_1}{d_2 - d_1} & d_1 < x < d_2 \\ 1 & x \geq d_2 \end{cases} \quad (2)$$

式中: x 为传感器测量值; d_1, d_2 分别为带式输送机处于健康状态、非健康状态的临界值。

设带式输送机识别框架为 $\Theta = \{O_1, O_2\}$, O_1, O_2 为识别目标,其中 O_1 表示健康状态, O_2 表示非健康状态。利用隶属度函数可确定第 i ($i = 1, 2, \dots, n, n$ 为传感器数量)个传感器对健康状态的支持度,用基本概率赋值 $m_i(O_1)$ 表示:

$$m_i(O_1) = \mu_1 \quad (3)$$

第 i 个传感器对非健康状态的支持度可用基本概率赋值 $m_i(O_2)$ 表示:

$$m_i(O_2) = \mu_2 \quad (4)$$

第 i 个传感器对目标的不确定性(既不支持健康状态,也不支持非健康状态)可用基本概率赋值 $m_i(\Theta)$ 表示^[9]:

$$m_i(\Theta) = 1 - m_i(O_1) - m_i(O_2) \quad (5)$$

1.2 基于模糊证据理论的信息融合

由 n 个传感器提供 n 组基本概率赋值,即可得到 n 个证据 $E_1, E_2, \dots, E_n$ 。基于模糊证据理论的信息融合具体步骤:

(1) 计算证据间的冲突因子 k_{pq} (表示证据之间的差异性)^[10-11]:

$$k_{pq} = m_p(O_1)m_q(O_2) + m_p(O_2)m_q(O_1) \\ p, q = 1, 2, \dots, n, p \neq q \quad (6)$$

则 n 个证据的冲突矩阵为

$$C = \begin{bmatrix} 0 & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & 0 & \cdots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (7)$$

(2) 计算证据间的相似度(表示证据之间的相似性):

$$d_{pq} = 1 - k_{pq} \quad (8)$$

则 n 个证据的相似矩阵^[12-13]为

$$S = \begin{bmatrix} 1 & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & 1 & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (9)$$

(3) 计算各证据的信任度系数(表示某证据被其他证据支持的程度):

$$\sup(E_i) = \sum_{p, q=1, p \neq q}^n d_{pq} \quad (10)$$

(4) 计算各证据的权重(即对信任度系数进行归一化处理)^[10]:

$$\omega_i = \text{crd}(E_i) = \frac{\sup(E_i)}{\sum_{p,q=1, p \neq q}^n \sup(E_i)} \quad (11)$$

(5) 计算各证据的信息熵(即对证据包含的信息量或不确定性的度量):

$$H_i = -\omega_i \ln \omega_i \quad (12)$$

(6) 比较各证据信息熵,判断信息熵最小的证据为冲突证据,并对冲突证据进行修正:

$$\begin{cases} m_q^*(O_j) = \alpha_i m_q(O_j) \\ m_q^*(\Theta) = \alpha_i m_q(\Theta) + 1 - \alpha_i \end{cases} \quad j = 1, 2 \quad (13)$$

式中: α_i 为修正系数, $\alpha_i = \frac{H_{\min}}{H_{\max}}$, $H_{\min}$, $H_{\max}$ 分别为证据信息熵最小值和最大值; $m_q^*(O_j)$, $m_q^*(\Theta)$ 为修正后的基本概率赋值。

(7) 利用 D-S 证据理论合成规则进行信息融合^[14]:

$$m(O_j) = \begin{cases} \frac{m_p(O_j)m_q^*(O_j) + m_p(O_j)m_q^*(\Theta)}{1 - k'_{pq}} & O_j \neq \varphi \\ 0 & O_j = \varphi \end{cases} \quad (14)$$

式中: $m(O_j)$ 为融合后获取的基本概率赋值(即多传感器对带式输送机健康状态或非健康状态的支持度); k'_{pq} 为修正后证据间的冲突因子, $k'_{pq} = \frac{m_p(O_1)m_q^*(O_2) + m_p(O_2)m_q^*(O_1)}{m_p(O_1)m_q^*(O_1) + m_p(O_2)m_q^*(O_2)}$; φ 为空集, 不属于识别框架。

若 $k'_{pq} \neq 1$, 表示证据间相互支持, 可运用合成规则进行信息融合; 若 $k'_{pq} = 1$, 表示证据间出现冲突, 导致合成规则失效, 不能直接运用合成规则进行信息融合。

1.3 决策规则

若 O_1, O_2 满足式(15)中的条件^[15], 则 O_1 为诊断结果, 否则为不确定状态, 即诊断不出健康状态还是非健康状态。

$$\begin{cases} m(O_1) - m(O_2) > \epsilon_1 \\ m(\Theta) < \epsilon_2 \\ m(O_1) > m(\Theta) \end{cases} \quad (15)$$

式中 ϵ_1, ϵ_2 为预先设定的门限, 本文取 $\epsilon_1 = 0.75$, $\epsilon_2 = 0.2$ 。

2 实例分析

烟雾传感器、温度传感器、速度传感器、测力传感器、霍尔传感器所测信号 S_1 — S_5 组成向量 $S = (S_1 \ S_2 \ S_3 \ S_4 \ S_5)$, 隶属度函数参数取值见表 1。

由某时刻现场传感器测量值得 $S = (23 \ 39$

2.2 \ 2.32 \ 2.18), 根据式(1)—式(5)得出测量值相应的基本概率赋值, 见表 2。

表 1 隶属度函数参数取值

Table 1 Value of membership function parameter

信号类型	d_1	d_2
烟雾浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	20	40
温度/ $^{\circ}\text{C}$	30	40
转速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	2	3
压力/Pa	2.25	3
张力/kN	2	3

表 2 基本概率赋值

Table 2 Basic probability assignment

信号	$m_i(O_1)$	$m_i(O_2)$	$m_i(\Theta)$
S_1	0.722 5	0.022 5	0.255 0
S_2	0.010 0	0.810 0	0.180 0
S_3	0.640 0	0.040 0	0.320 0
S_4	0.822 1	0.008 7	0.169 2
S_5	0.672 4	0.032 4	0.295 2

从表 2 可看出, 大多数传感器所提供的信息都支持健康状态, 除霍尔传感器所提供的信息不确定性较大外, 只有温度传感器提供的信息支持非健康状态, 说明该传感器所提供的信息与其他传感器所提供的信息出现冲突, 可能是由于巷道内环境使温度传感器信号受到干扰, 但其仍包含有用信息。

通过基于模糊证据理论的信息融合算法可得 $m(O_1) = 0.977\ 7$, $m(O_2) = 0.013\ 1$, $m(\Theta) = 0.009\ 2$,

且满足
$$\begin{cases} m(O_1) - m(O_2) = 0.964\ 6 > \epsilon_1 \\ m(\Theta) = 0.009\ 2 < \epsilon_2 \\ m(O_1) > m(\Theta) \end{cases}, \text{ 根据决策}$$

规则, 可判断带式输送机处于健康状态, 该诊断结果与大多数传感器所提供信息的支持度一致。

3 结语

煤矿带式输送机健康诊断方法首先通过多种传感器实时采集带式输送机信息, 并对信息进行特征提取, 即根据隶属度函数获取基本概率赋值; 然后通过对冲突证据进行修正并应用 D-S 证据理论的合成规则实现基于模糊证据理论的信息融合; 最后根据决策规则进行带式输送机健康诊断。实例分析表明, 该方法可准确诊断带式输送机状态。

参考文献(References):

[1] 黄民, 魏任之. 矿用钢绳芯带式输送机实时工况监测与故障诊断技术[J]. 煤炭学报, 2005, 30(2): 245-250.

- HUANG Min, WEI Renzhi. Real time monitoring techniques and fault diagnosis of mining steel cord belt conveyors[J]. Journal of China Coal Society, 2005,30(2):245-250.
- [2] 王金华. 井下带式输送机煤流控制系统现状及发展趋势[J]. 工矿自动化, 2015, 41(3):32-34.
- WANG Jinhua. Current situation and development trend of coal flow control system of belt conveyor[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(3):32-34.
- [3] 徐琰珂, 梁晓庚, 贾晓洪. 利用模糊证据理论的信息融合方法及其应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012, 44(3):107-111.
- XU Yanke, LIANG Xiaogeng, JIA Xiaohong. Information fusion based on fuzzy evidence theory and its application in target recognition[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2012, 44(3):107-111.
- [4] 任海东. 基于D-S证据理论的带式输送机故障诊断[J]. 煤炭技术, 2017, 36(11):273-275.
- REN Haidong. Fault diagnosis of belt conveyor based on D-S evidence theory[J]. Coal Technology, 2017, 36(11):273-275.
- [5] 吴定会, 王莉, 纪志成. 信息融合在带式输送机故障诊断中的应用[J]. 控制工程, 2014, 21(4):483-486.
- WU Dinghui, WANG Li, JI Zhicheng. Application of information fusion technology in fault diagnosis of belt conveyor[J]. Control Engineering of China, 2014, 21(4):483-486.
- [6] 胡伟, 李欧. 模糊信息融合在带式输送机故障诊断中的应用[J]. 工矿自动化, 2013, 39(5):48-51.
- HU Wei, LI Ou. Application of fuzzy information fusion in fault diagnosis of belt conveyor[J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(5):48-51.
- [7] 杨绵绒, 张鑫. 多传感器模糊信息融合算法在煤矿瓦斯监测中的应用[J]. 煤炭技术, 2013, 32(7):132-133.
- YANG Mianrong, ZHANG Xin. Application of multisensor fuzzy information fusion algorithm in coal mine gas monitoring[J]. Coal Technology, 2013, 32(7):132-133.
- [8] 韩峰, 杨万海, 袁晓光. 基于模糊集合的证据理论信息融合方法[J]. 控制与决策, 2010, 25(3):449-452.
- HAN Feng, YANG Wanhai, YUAN Xiaoguang. Evidence theory information fusion method based on fuzzy set[J]. Control and Decision, 2010, 25(3):449-452.
- [9] 王新, 马庆林. 一种新型的基本概率赋值分配函数获取方法及其应用[C]//第29届中国控制会议, 北京, 2010:4037-4040.
- [10] 胡海亮, 钟求喜, 刘浏. 基于迭代合成的D-S证据理论改进方法[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(10):2985-2987.
- HU Hailiang, ZHONG Qiuxi, LIU Liu. Improved method to D-S evidence theory based on iterative synthesis[J]. Application Research of Computers, 2016, 33(10):2985-2987.
- [11] JOUSSELME A L, MAUPIN P. Distances in evidence theory: comprehensive survey and generalizations[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2012, 53(2):118-145.
- [12] 刘兵, 李辉, 邢刚. 基于加权证据理论的模糊信息融合目标识别[J]. 计算机工程, 2012, 38(15):172-174.
- LIU Bing, LI Hui, XING Gang. Fuzzy information fusion target recognition based on weighted evidence theory[J]. Computer Engineering, 2012, 38(15):172-174.
- [13] 田鹤, 韩刚. 信息融合技术在带式输送机故障诊断中的应用[J]. 矿山机械, 2011, 39(3):47-50.
- TIAN He, HAN Gang. Application of information fusion technology to fault diagnosis of belt conveyors[J]. Mining and Processing Equipment, 2011, 39(3):47-50.
- [14] 璩磊, 李少波, 张成龙. 基于模糊证据理论的多传感器数据融合算法[J]. 仪表技术与传感器, 2017(10):118-122.
- QU Jinglei, LI Shaobo, ZHANG Chenglong. Multi-sensor data fusion algorithm based on fuzzy evidence theory[J]. Instrument Technique and Sensor, 2017(10):118-122.
- [15] 张国栋, 祁瑞敏. 基于信息融合的煤矿绞车健康诊断系统设计[J]. 工矿自动化, 2017, 43(6):76-79.
- ZHANG Guodong, QI Ruimin. Design of health diagnosis system of coal mine winch based on information fusion[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(6):76-79.