

# 基于信息融合的客运索道信号监控方法

陈后旺, 陆永华\*

(南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016)

**摘要:**为解决客运索道设备故障诊断复杂模糊的问题,引入了多传感器信息融合理论,设计了一种用于客运索道设备监控与故障诊断的系统。针对客运索道重要设备信号中温度、压力等多种传感器信号进行了数据采样,提取了它们的特征量,并采用分批估计法、D-S 证据理论等算法对数据进行了融合,对客运索道设备的工作状态做出了准确估计,并用于信息决策。研究表明,该系统实现了对客运索道的实时监控,提高了客运索道设备故障诊断的准确性。

**关键词:**客运索道;信号监控;信息融合;故障诊断

中图分类号: TH235; TP277; TP274+.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)11-1350-04

## Signal monitoring method of passenger ropeway based on information fusion

CHEN Hou-wang, LU Yong-hua

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics  
and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of complexity and fuzzy in the fault diagnosis system of the passenger ropeway, a multi-sensor data fusion method has been addressed. Passenger ropeway equipment monitoring and fault diagnosis system was designed. The parameters, such as the temperature and pressure which are important signals of the passenger ropeway, were dealt with through batch estimate the fusion algorithm and the D-S evidence theory. The rules were used to make an accurate decision for the running state of passenger ropeway which can be used in the information decision. The experimental results show that the real-time monitoring system of the passenger ropeway is developed and the performances of the fault diagnosis system of the passenger ropeway are improved.

**Key words:** passenger ropeway; signal monitoring; information fusion; fault diagnosis

## 0 引 言

索道作为一种特种设备,被广泛应用于人员密集场所,尤其是在旅游高峰时期,由于乘客数量多、密度大,索道设备负荷重,加之山地的地理环境特殊,一旦发生事故,极易酿成严重后果<sup>[1]</sup>。国外的索道安全监测系统较为成熟,法国 POMA 公司研制的系统使用多台电子计算机监测控制索道的运行状况;德国 PWH 公司研制的索道驱动系统的操纵台上设有能显示各种设备运转故障的监控装置<sup>[2]</sup>。目前,国产索道设备运行参数在线检测、自诊断和故障预警等技术不是很完善。首先,实时监测的运行参数普遍都是供电电压、电

流、电机电流、运行速度等简单参数;其次,检测的核心在于钢丝绳、抱索器和加减速器部件,均属于事后维修管理和预防维修管理;再次,运行参数只能靠操作人员观察和定时记录,当出现故障时运行参数没有被实时地记录,管理人员很难判断事故最初的诱因,给设备的维护和管理带来很大不便<sup>[3,4]</sup>。因此,对索道设备进行监测监控和故障诊断排除是索道安全运行的必要前提。

山东农业大学的侯加林<sup>[5]</sup>研制的客运索道运行与安全智能监控系统较好地模拟了索道运行过程中轿厢的状态,其侧重点在于索道钢丝绳的检测与维护保养,对于索道的设备监控及其故障没有提出相应的解决方法。这些索道监测系统多注重于钢丝绳、抱索器

收稿日期:2012-06-18

作者简介:陈后旺(1989-),男,福建福鼎人,主要从事测控系统方面的研究。E-mail: chwyuzxf@126.com

通信联系人:陆永华,男,副教授,博士,硕士生导师。E-mail: nuaalyh@gmail.com

及加减速器的检测,且对系统中的压力、温度这些参数采用各自传感器独立处理,割裂了数据之间的内在联系,使系统可靠性降低。

为此,本研究采用多传感器信息融合理论,设计一种用于客运索道设备监控与故障诊断的系统,采用分批估计法、D-S 证据理论等算法对索道设备信息进行处理,以提高系统的可靠性和故障诊断的准确性。

### 1 系统方案

客运索道设备主要包括:支架、托压索轮、钢丝绳、吊篮或吊厢、主动轮、迂回轮、紧急闸、工作闸、液压站、电气控制系统等。

客运索道设备运行状态监测系统如图 1 所示。系统主要包括:风向风速检测、电机温度检测、制动器到位信号检测、脱索检测、钢丝绳检测、润滑泵的压力及温度检测、液压张紧系统的压力及温度检测、油缸油液位置检测、系统速度检测、吊厢状态检测等几部分<sup>[6-7]</sup>。

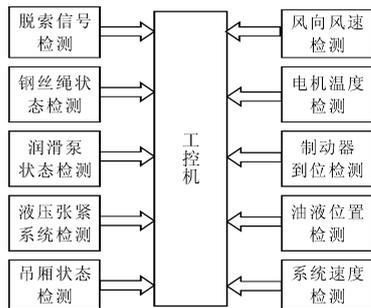


图 1 状态监测系统信号框架

这些信号有的是连续过程,有的需要冗余处理,有的需要综合处理。考虑到监测监控和故障诊断的实时性,根据数据融合理论,某些信号会在同一传感器不同时刻采集的数据进行时间序列上的融合,某些信号在各种传感器采集的数据进行融合,系统将得到的信号融合结果与系统定义的范围值或定值进行比较,从而判断是否触发警报,使操作人员及时对索道进行处理。

索道信号的信息处理如图 2 所示。

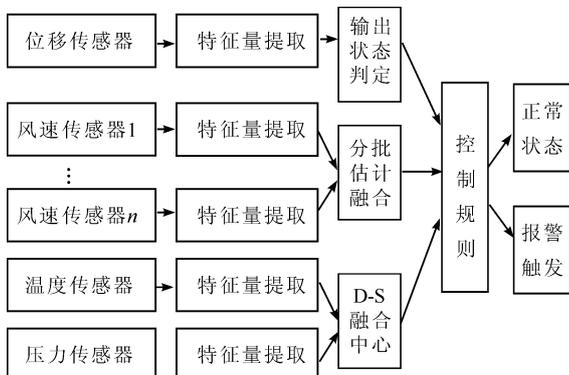


图 2 索道信号的信息处理系统图

### 2 数据融合方法

传统的数字滤波是将测量数据  $x_1, x_2, \dots, x_k$  取其算术平均值,即:  $\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i$ 。

而分批估计法是将等精度测量数据分成两组(设奇、偶取法),分别记为  $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m}$  和  $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}$ ,  $m$  可以不等于  $n$ <sup>[8]</sup>。然后分别计算两组的算术平均值,记为:  $\bar{x}_1$  和  $\bar{x}_2$ 。

且:

$$\begin{cases} \bar{x}_1 = \frac{1}{m} \sum_{p=1}^m x_{1p} \\ \bar{x}_2 = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n x_{2q} \end{cases} \quad (1)$$

相应的标准差记为  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$ , 且:

$$\begin{cases} \sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{p=1}^m (x_{1p} - \bar{x}_1)^2} \\ \sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{q=1}^n (x_{2q} - \bar{x}_2)^2} \end{cases} \quad (2)$$

考虑到两组测量数据之前没有任何有关测量的统计信息,因此可认为在此之前测量结果的方差  $(\sigma_-)^{-1} = 0$ 。由分批估计理论可知,分批估计后得到的数据融合结果的方差为:

$$\sigma_+ = [(\sigma_-)^{-1} + H^T R^{-1} H]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} (\sigma_1)^{-1} & 0 \\ 0 & (\sigma_2)^{-1} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}^{-1} = \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (3)$$

其中:测量方程的系数矩阵  $H$  设为  $\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ ; 测量噪声的协方差  $R$  为:

$$R = E[v \ v^T] = \begin{pmatrix} E[v_1^2] & E[v_1 v_2] \\ E[v_2 v_1] & E[v_2^2] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

由分批估计理论导出的数据融合值  $x^+$  为:

$$x^+ = [\sigma_+ (\sigma_-)^{-1}] x^{-1} + [\sigma_+ + H^T R^{-1}] x = [\sigma_+ + H^T R^{-1}] x \quad (5)$$

式中:  $x^{-1}$  上次数据融合结果。且  $x$  为:

$$x = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

将式(4)和式(6)代入式(5),得:

$$x^+ = \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} (\sigma_1)^{-1} & 0 \\ 0 & (\sigma_2)^{-1} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \end{bmatrix} = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \bar{x}_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \bar{x}_2 \quad (7)$$

上式即为基于多传感器参数估计数据融合的数据值。根据多个传感器的协同工作,本研究利用估计方法对检测数据进行数据融合,得到温度、压力等参数的准确预测值。

D-S 证据理论的基本策略是把证据集合划分为若干个不相关的部分,并分别利用它们对识别框  $\Theta$  独立进行判断,然后利用组合规则把它们组合起来。设  $Bel_1, Bel_2, \dots, Bel_t$  为论域  $U$  上  $t$  个独立证据的信任函数,其相应的基本概率分配函数(可信度分配函数)分别为  $f_1, f_2, \dots, f_t$  [9-10]。

相应的焦点元素分别为:

$$A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1k_1};$$

$$A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2k_2}; \dots, A_{t1}, A_{t2}, \dots, A_{tk_t}$$

设  $\alpha = A_{1i_1} \cap A_{2i_2} \cap A_{3i_3}, \dots, A_{ti_t}$ , 则:

$$K_1 = \sum_{\alpha=\emptyset} f_1(A_{1i_1})f_2(A_{2i_2})f_3(A_{3i_3})\dots f_t(A_{ti_t})$$

若  $K_1 < 1$ , 则融合后的可信度分配为:

$$f_A = \begin{cases} 0 & (A = \Phi) \\ \frac{\sum_{\alpha=\emptyset} f_1(A_{1i_1})f_2(A_{2i_2})f_3(A_{3i_3})\dots f_t(A_{ti_t})}{1 - K_1} & (A \neq \Phi) \end{cases}$$

式中:  $\Phi$  —空集。

通过每一次的融合,融合诊断的可靠性不断提高。

D-S 证据理论的一般融合过程是 [11]:

(1) 分别计算各传感器的基本可信数、信度函数和似真度函数;

(2) 利用 Dempster 合并规则,求得所有传感器联合作用下的基本可信数、信度函数和似真度函数;

(3) 在一定决策规则下,选择具有最大支持度的目标。

### 3 索道数据融合的实现

传统检测方法大多是将索道设备信号分为数字量信号和模拟量信号,在信号采集后进行图表或数字显示,一般不进行数据处理,无法确定其值的准确性。

泰山索道和紫金山索道的部分历史运行参数如表 1 所示,通过将数据融合算法引入到采集信号信息的处理中,分批估计理论通过对一系列不同的测量值预先排除奇异值或噪声值,而后将数值分组,分别求取它们的平均值和方差,代入式(7)计算,所得到的多传感器参数估计融合的数据值比算术平均值更加精确,由此提高了系统的准确性。

通过 D-S 证据融合理论建立设备信号的内在联系,可使系统对监控设备状态和故障的控制更加准确。

本研究以索道润滑泵设备中温度传感器和压力传感器的 D-S 证据融合为例,先对各个探测对象在不同范围内的值,赋予了不同的信任值,这些信任值不是精确概率值,而是由经验和一些统计数据得到的。信任值随着检测压力或温度在一定的数值范围内变化,不同信任等级下的信任值,在工作正常态、安全状态的信任值较大;在工作非常态、危险状态的信任值较大。

具体信任值如表 2 所示。

表 1 分批估计算法与算术平均值结果

	吊厢速度/(m·s <sup>-1</sup> )	风速/(m·s <sup>-1</sup> )	抱索力/kg
序 列 测 量 数 值	2.42	0.98	525
	2.56	1.10	518
	2.45	1.14	529
	2.58	1.04	522
	2.55	1.06	537
	2.53	1.03	544
	算术平均值	2.52	1.06
分批估计值	2.49	1.04	532.4
标准值	2.5	1	535

表 2 各参数不同范围值的信任值

参数范围	信任等级与信任值				不确定度	
	安全	一般状态	危险	较危险		
2 ~ 8	0.15	0.15	0.3	0.3	0.1	
压力 /MPa	8 ~ 13	0.3	0.25	0.15	0.1	0.2
13 以上	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	
温度 /°C	10 ~ 30	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2
30 ~ 60	0.35	0.25	0.2	0.1	0.1	
60 以上	0.1	0.1	0.4	0.3	0.1	

以压力 8 MPa ~ 13 MPa 和温度 30 °C ~ 60 °C 为例进行融合,所得结果如表 3 所示。表 3 中,融合之后的不确定度  $m(\theta)$  随之下降,融合后的基本可信度分配函数值比融合前具有更好的可区分性,说明将 D-S 证据理论信息融合技术应用于客运索道设备故障诊断预测是可行的。

表 3 传感器基本概率函数值与融合结果

传感器	$m(\theta)$	信任等级与信任值			
		安全	一般状态	危险状态	较危险
压力	0.2	0.3	0.25	0.15	0.1
温度	0.1	0.35	0.25	0.2	0.1
融合	0.04	0.42	0.28	0.18	0.08

### 4 软件实现

数据处理程序模块的流程图如图 3 所示,主要包

括传感器基本信息数值的处理,以及对计算后得到的数据用数据融合方法分析判断是否产生预警。各个算法按一定的组织存封在算法库中,系统根据实际需求调用相应的算法模块。算法融合过程中,系统通过打开文本方式调用传感器数据,融合结果与系统初始定义值进行比较以判断是否需要报警,并将结果存入数据库从而实现实时显示。

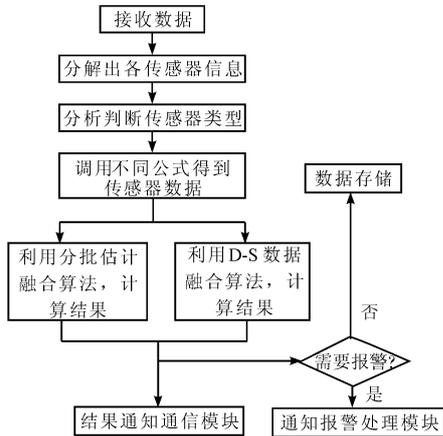


图 3 数据处理模块流程图

分批估计理论主要针对同类型传感器,根据多个传感器的协同工作,利用估计方法对检测数据进行数据融合,得到准确预测值。仿真结果表明,通过分批估计算法的数据融合结果比算术平均值结果更接近测量值,其程序流程图如图 4 所示。

理论上 D-S 证据理论模块能够实现  $N$  种传感器得到检测目标中属于  $M$  类目标中的哪一类。出于简化编程的考虑,本研究实现的两种传感器得到检测目标中属于 4 类目标(安全、一般状态、危险、较危险)中的哪一类。研究者在程序实现过程中需要输入传感器 A 和 B 对目标类型的直接概率分配函数,进行融合后可得出检测目标的类型和属于该类型的概率,其程序流程图如图 5 所示。

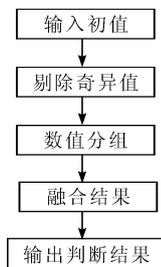


图 4 分批估计融合算法流程图

## 5 结束语

采用多传感器算术平均值与分批估计相结合的方

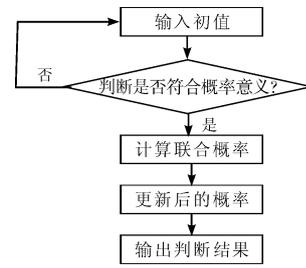


图 5 D-S 融合算法流程图

法,可获得比有限个测量数据平均值更准确的结果。本研究将 D-S 证据理论应用于索道设备的状态检测,解决了单一传感器难以判断的问题,融合后的  $m(\theta)$  明显减小,这说明通过融合降低了系统的不确定性,而且融合后的基本可信度分配函数值比融合前具有更好的可区分性,说明 D-S 证据理论信息融合技术在索道设备安全状态预测中是可行的。

当前存在的问题是基本概率分配函数值尚不容易确定,带有一定的主观性。

## 参考文献 (References):

- [1] 吴鸿启. 客运架空索道安全技术[M]. 北京:人民交通出版社,1996.
- [2] HOFFMANN K, NENAD Z. Surface lifts chairlifts and monacable circulating hopeways[J]. *Index to Scientific Reviews*, 1982(1):11-17.
- [3] 张伟忠,王继祥,宋济生,等. 客运索道安全运营监控系统的研究[J]. *山东科学*, 2009, 22(6):73-76.
- [4] 徐格宁,袁化临. 机械安全工程[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2007.
- [5] 施国英,侯加林. 客运索道运行与安全智能监测系统的设计[D]. 青岛:山东农业大学机械与电子工程学院,2010.
- [6] 方铭杰,郭文明. 客运索道关键部位在线遥测及监测系统开发与设计[D]. 北京:北京邮电大学软件学院,2009.
- [7] FROHLICH, SIGURD, KOELLNER, et al. Ropeway safety monitoring system; US, 5528219[P]. 1996-06-08.
- [8] 腾召胜,罗隆福. 智能检测系统与数据融合[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [9] KLEIN L A. Sensor and data fusion concepts and applications [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2004.
- [10] BOGLER P L. Shafer-dempster reasoning with applications to multisensor target identification system [J]. *IEEE Transactions System Man and Cybernetics*, 1987, SMC-17: 968-977.
- [11] FIXEN D, MAHLER R P. The modified dempster-shafer approach to classification[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 1997, 27(1): 96-104.

[编辑:李 辉]