

推土机故障诊断的Bayes判别方法研究

Research on Bayes Discrimination Method in Bulldozer Fault Diagnosis

文畅平,何永延

WEN Chang-ping, HE Yong-yan

邵阳学院 城市建设系,湖南 邵阳 422000

Department of Urban Construction, Shaoyang University, Shaoyang 422000, Hunan, China

【摘要】将Bayes判别分析法应用于推土机工作状态评价中,建立了推土机工作状态分类和发动机故障识别的Bayes判别分析模型。实例研究表明:Bayes判别分析模型回判估计误判率较低,因而是推土机发动机工作状态分类与故障诊断识别的一种有效方法,可在生产实际中应用和推广。

【Abstract】The Bayes discrimination method is used to evaluate the working state of bulldozers. The working states are classified, and the model of fault diagnosis for engines using Bayes discrimination method is built. The research shows that the misjudgement rate of the model is slightly low. It's effective to use the model to classify the working states of engines of bulldozers and identify the failures, so the model can be adopted in practical applications.

【关键词】 Bayes判别分析法;推土机;发动机;故障诊断

【Key words】 Bayes discrimination method; bulldozer; engine; fault diagnosis

中图分类号:U415.51

文献标识码:B

文章编号:1000-033X(2008)04-0078-03

0 引言

推土机是基础建设工程施工中应用最广泛的设备之一,对其运行过程中的状态监测与故障诊断的研究是一项具有重要意义的课题。目前,国产推土机大部分采用机械结构来进行控制操作,缺乏有效的现场监测和故障诊断系统。对于故障的发生没有预见性,发生故障之后往往要依靠操作者的实际经验来判断故障点,这为快速、及时地解决故障造成了很大障碍,从而使得生产成本增加,机械效率降低。所以,研究推土机状态监测与故障诊断是很有必要的。

1 推土机的故障诊断

推土机的发动机是一个复杂系统,由于结构复杂,故障引发原因多,所以故障起因难以诊断。对推土机发动机进行快速故障诊断,确保其处于最佳工作状态,对提高推土机使用安全性、减低污染和节约维修费用具有重要意义。

传统的各种故障诊断方法都有其局限性,仅在某些较小范围内具有实用价值,难以在推土机整体状态故障诊断中充当重任。近年来,人工智能的研究已取得了很大进展,

专家系统在推土机发动机故障诊断中得到应用^[1]。同时,神经网络、支持向量机等新技术也在推土机发动机故障分类和识别中得到应用,并取得了较好的效果^[2-3]。

推土机发动机的故障振动信号具有非线性、非稳态性的特点,因而对推土机故障诊断这类复杂问题的求解,需要多种方法和途径的互补才能达到预期的目的。基于这一考虑,本文结合多元统计学知识,以Bayes判别分析法^[4-5]建立推土机发动机故障诊断模型,探讨推土机发动机故障的分类方法,从而为推土机发动机整体状态评价提供科学依据。模型通过选取合理的特征参数和训练样本,进而对一些有代表性的故障样本进行分类识别,结果表明:诊断准确,判别成功率高。

2 Bayes判别方法

2.1 Bayes判别方法的基本思想

用统计学的语言来描述Bayes判别方法就是:已知有 g 个 p 维总体 G_1, G_2, \dots, G_g ,每个总体 G_i 可认为是属于 G_i 的指标 $X=(X_1, X_2, \dots, X_p)^T$ 取值的全体,它们分别具有互不相同的 p 维概率密度函数 $f_1(X), f_2(X), \dots, f_g(X)$ 。在进行判别分析之

前,对所研究的总体在抽样前已有一定的了解,常用先验概率分布来描述这种认识,然后基于抽取的样本再对先验认识作修正,得到后验概率分布后再进行统计推断。在实际应用中,判别分析需提取训练样本中各总体的信息以构造一定的准则来决定新样品的归属。将Bayes统计思想用于判别分析就得到Bayes判别方法。

2.2 Bayes判别函数

设2个p维正态总体 G_1, G_2 ,其概率密度函数为

$$f_i(X) = (2\pi)^{-\frac{p}{2}} |\Sigma_i|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(X-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1}(X-\mu_i)\right\} \quad (1)$$

式中 μ_i, Σ_i ——两总体的均值向量和协方差矩阵, $|\Sigma_i|$ 为 Σ_i 的行列式($i=1, 2$)。

假设 $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma$,根据马氏(Mahalanobis)距离和判别函数的概念,可得

$$\frac{f_1(X)}{f_2(X)} = \exp\left\{\frac{1}{2}[(X-\mu_2)^T \Sigma^{-1}(X-\mu_2) - (X-\mu_1)^T \Sigma^{-1}(X-\mu_1)]\right\} = \exp\left\{\frac{1}{2}[d^2(X, G_2) - d^2(X, G_1)]\right\} = \exp\{W(X)\} \quad (2)$$

$$W(X) = \left[X - \frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2)\right]^T \Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2) \quad (3)$$

式(3)称为Bayes判别函数。

2.3 多正态总体的Bayes判别

可以将式(3)很方便地推广到多正态总体的判别分析。

设g个p维正态总体 G_1, G_2, \dots, G_g ,其概率密度函数为式(1)($i=1, 2, \dots, g$)。

假设各正态总体的协方差矩阵相等,即: $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_g = \Sigma$,则得到Bayes判别函数为

$$W_i(X) = \mu_i^T \Sigma^{-1} X - \frac{1}{2} \mu_i^T \Sigma^{-1} \mu_i + \ln q_i \quad (4)$$

实际应用中,若 μ_i, Σ_i 未知,则以训练样本作估计,即以训练样本的样本均值 $\bar{x}^{(i)}$ 和样本方差 S_i 作为 μ_i 和 Σ_i 的估计,此时

$$\hat{\mu}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} x_i^{(k)} = \bar{x}^{(i)} \quad (5)$$

$$\hat{\Sigma} = \frac{(n_1-1)S_1 + (n_2-1)S_2 + \dots + (n_g-1)S_g}{n_1 + n_2 + \dots + n_g - g} \quad (6)$$

$$S_k = \frac{1}{n_k - 1} \sum_{i=1}^{n_k} (x_i^{(k)} - \bar{x}^{(k)})(x_i^{(k)} - \bar{x}^{(k)})^T \quad (7)$$

式中: $k=1, 2, \dots, g$ 。

2.4 多正态总体的Bayes判别准则

设总体 G_1, G_2, \dots, G_g 的先验概率分布分别为 q_1, q_2, \dots, q_g ,误判损失为 $c(i|j)$ ($i, j=1, 2, \dots, g, i \neq j$),记 $c(i|i)=0$ 。在等误判损失下,其Bayes判别准则为

$$x \in G_i, \text{若 } \max_{1 \leq k \leq g} \{W_k(x)\} = W_i(x) \quad (8)$$

判别准则可解释为:对给定的样品x,计算g个总体在x处的概率密度函数值(以Bayes函数值 $W_i(x)$ 代替),最大值所属的总体 G_i 即为x所属的类别。

2.5 判别准则的评价

本文用貌似误判率方法来衡量上述判别准则的优良性。通过对训练样本中的各样品逐个回判,利用回判的误判率来衡量判别准则的效果。貌似误判率即为回判中判错样品的比例。当然,貌似误判率作为真实误判率的估计是有偏差的。

设 $x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_{n_k}^{(k)}$ ($k=1, 2, \dots, g$)为来自 G_1, G_2, \dots, G_g 的容量分别为 n_1, n_2, \dots, n_g 的训练样本,以全体训练样本作为 $(n_1 + n_2 + \dots + n_g)$ 个新样品,逐个代入已建立的判别准则中判别其归属,貌似误判率计算公式为

$$\hat{\alpha} = \frac{n_1^0 + n_2^0 + \dots + n_g^0}{n_1 + n_2 + \dots + n_g} \quad (9)$$

式中: n_1^0 ——属于 G_1 的样品被错判的个数;

n_2^0 ——属于 G_2 的样品被错判的个数;

n_g^0 ——属于 G_g 的样品被错判的个数。

3 推土机工作状态分类与故障识别的Bayes模型

3.1 判别指标

对推土机整体状态的监测主要是监测和提取与推土机设备运行有关的状态信号,因为状态监测信号是推土机故障信息的惟一载体,也是其诊断的根本依据。一般通过提取推土机发动机的振动信号进行分析研究,从而对推土机发动机的故障进行诊断。

利用振动信号中的特征功率频谱、总功率、平均功率谱、最大振幅和振幅均方根5个参数作为判别指标,诊断推土机发动机的活塞、活塞环、缸套和机身等部分处于磨合、正常、磨损和极限中的何种工作状态。

3.2 Bayes判别分析函数

将特征功率频谱、总功率、平均功率谱、最大振幅和振幅均方根5个参数分别设为 x_1, x_2, x_3, x_4 和 x_5 ;将推土机发动机的4种工作状态——磨合、正常、磨损和极限分别设为 G_1, G_2, G_3 和 G_4 ,从而建立推土机发动机工作状态分类与故障识别的Bayes判别分析函数。

以文献[3]提供的样本作为训练样本,建立Bayes判别分析函数。数据见表1。

假定4个总体的协方差矩阵相等,按照第2节的方法建立Bayes判别函数为

表1 训练样本

样本	状态	特征参数			
		特征功率谱/ (mg ² ·Hz ⁻¹)	总功率/g ²	平均功率谱/ (mg ² ·Hz ⁻¹)	最大振幅/g 振幅均方根/g
1	磨合	35.3	4.08	7.946	15.70
2	磨合	36.5	4.04	7.943	17.80
3	磨合	34.8	3.97	7.487	15.90
4	磨合	36.1	4.01	7.253	16.40
5	磨合	34.4	4.11	7.461	16.20
6	正常	49.3	4.54	8.123	9.79
7	正常	48.2	4.23	9.238	9.31
8	正常	52.5	4.87	8.876	10.76
9	正常	53.5	4.76	8.745	9.54
10	正常	54.7	4.77	8.942	8.89
11	磨损	52.7	4.79	9.667	8.87
12	磨损	65.5	4.83	9.012	9.21
13	磨损	354.6	25.10	49.301	49.11
14	磨损	358.4	24.60	47.804	45.24
15	磨损	362.8	26.00	51.912	49.18
16	极限	366.5	26.20	47.030	44.07
17	极限	361.1	25.30	44.500	46.00
18	极限	1 179.4	64.50	132.360	61.26
19	极限	1 192.9	68.20	141.750	66.05
20	极限	1 199.8	67.60	136.700	63.61

$$\left. \begin{aligned} W_1(x) &= -1.190x_1 + 11.087x_2 + 1.347x_3 - 8.168x_4 + 144.689x_5 - 91.681 \\ W_2(x) &= -1.831x_1 + 25.666x_2 - 0.563x_3 - 12.431x_4 + 193.189x_5 - 158.428 \\ W_3(x) &= -1.754x_1 + 24.572x_2 - 0.627x_3 - 11.701x_4 + 186.325x_5 - 151.480 \\ W_4(x) &= -2.175x_1 + 48.696x_2 - 7.938x_3 - 15.249x_4 + 212.162x_5 - 227.667 \end{aligned} \right\} (10)$$

以式(9)的判别准则对式(10)中判别函数的优良性进行检验,即以所建立的准则对训练样本进行回判,结果将属于G₃(磨损状态)的11、12号判为G₂(正常状态),因而貌似误判率为10%,识别准确率为90%。

4 结语

(1) 以推土机的发动机振动信号中的特征功率频谱、总功率、平均功率谱、最大振幅和振幅均方根5个参数作为特征向量,诊断推土机发动机的活塞、活塞环、缸套、机身处于磨合、正常、磨损和极限中的哪一种工作状态,这样综合考虑了推土机整体状况诊断在工程实际中的可操作性、广泛性和适用性。

(2) 以Bayes判别分析方法建立推土机故障诊断的数学模型,通过对判别准则优良性的检验,得到了较为满意的结果,为推土机工作状态分类与故障识别提供了数量化和定量化的途径。

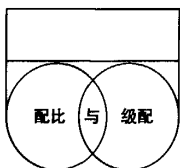
(3) 由于训练样本容量的限制,模型的代表性和准确性会受到一定的影响,因而在今后的研究中,应广泛收集推土机故障诊断实例资料,用来增大训练样本的容量,从而提高其代表性和准确性,进一步增强该模型的工程适用性。

参考文献:

- [1] 王大宇,林其生.推土机状态监测与故障诊断系统[J].建筑机械:上半月刊,2006,26(1):77-78.
- [2] 肖健梅.基于径向基函数神经网络的柴油机故障诊断[J].仪器仪表学报,2005,26(4):355-357.
- [3] 舒服华.基于粗糙集与支持向量机的推土机故障诊断[J].筑路机械与施工机械化,2007,24(1):56-59.
- [4] 梅长林,周家良.实用统计方法[M].北京:科学出版社,2002.
- [5] 张尧庭,方开泰.多元统计分析引论[M].北京:科学出版社,2003.

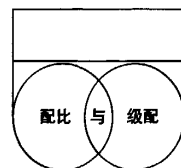
收稿日期:2007-11-25

[责任编辑:杜卫华]



配比设计与级配调试技术转让

(电算程序 免纸笔、资料、计算器 智能型、按钮化)



一步到位、一目了然、随意直观——五大功能切实为各类搅拌设备现场解决配比与级配难题!

1. 配比设计(一键单击):用电算程序(速解模板)进行配比设计,智能精确,可简化运算解析过程。
2. 级配调试(连续对话):用电算程序(速解模板)进行级配调试,效果直观,可预知级配调控结果。
3. 级配检验(逐点剖析):用电算程序(速解模板)进行级配检验,图表联动,可透视级配对症监管。
4. 配比优化(按图索骥):用电算程序(速解模板)进行配比优化,简明扼要,可切实指导配料生产。
5. 数据处理(智能图表):用电算程序(速解模板)处理检测数据,便捷实用,可自动形成级配曲线。
6. 图表绘制(标准模板):用电算程序(速解模板)绘制级配曲线,精巧规范,可各式图表同步展现。
7. 级配监测(实时曲线):用电算程序(速解模板)图解过程控制,总量检验,可实时级配随时查看。
8. 冷料调速(频率转速):用电算程序(速解模板)估算冷料转速,代替标定,可减少溢料协调运转。
9. 施工决策(机料兼管):用电算程序(速解模板)督导搅拌设备,查验方便,可锁定级配抓住关键。
10. 功能齐备(功效非凡):五大功能,十大模板——设计、调试、修正、监测、检验,全盘皆活,业内领先。

地址:西安市南二环路中段长安大学校本部422信箱(710064) 电话:13991859758(左文军) 传真:029-82334674

声明:保护知识产权、侵权必究! 欢迎来人来电交流垂询(级配:不怕要求高,就怕没要求。工欲善其事,必先利其器!)