

相对主元分析在船舶机舱监控系统的应用

卢光松, 甘辉兵, 郑恒持, 史兴晨

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 目前船员对于船舶状况、航行状态等的判断主要还是依靠经验, 难免会出现不恰当的决策, 造成不必要的人力、财力的损失; 针对这一问题提出并开发了一套融入相对主元分析船舶机舱监控系统; 该系统除了具有常规机舱监控系统功能外, 还能实现故障监测功能; 协助管理人员进行系统故障的分析, 从而更好地保证船舶航行的安全与效率, 减少人为误操作带来的事故问题; 增强了船舶监控系统的功能, 大大提高了人员的工作效率减轻了人员的劳动强度; 其设计满足船级社的定期无人机舱值守操作, 为机舱监控系统的设计提供了一种新的思路。

关键词: 船舶; 机舱监控; 相对主元分析; 故障分析

Application of Relative Principal Component Analysis in Monitoring Control System for Ship Engine Room

Lu Guangsong, Gan Huibing, Zheng Hengchi, Shi Xingchen

(College of Marine Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: At present, the judgment of the crew on the condition of the ship and the condition of the ship is mainly depended on the experience. It is inevitable that there will be an inappropriate decision, resulting in the loss of human and financial resources. For this reason, A monitoring system of marine engine room is proposed and developed, which is integrated into the relative principal component analysis. Besides conventional monitor and control functions, the system can realize fault monitoring function. Assist the manager in the analysis of the system failure, to better ensure the safety and efficiency of navigation of ships, reduce artificial misoperation accident problem. Enhanced the function of the ship monitoring system, greatly improve the staffs work efficiency and reduce the labor intensity of the staff. It is designed to satisfy the regular operation of the class society, which provides a new way for the design of the engine room monitoring control system.

Keywords: ship; engine room monitor and control; RPCA; fault analysis

0 引言

船舶机舱监视与报警系统的功能是准确可靠地监视机舱内的机械设备与电气设备的运行状态及其参数, 一旦运行设备发生故障, 系统将自动发出声光报警信号。

船舶机舱监测报警系统是船舶自动化的重要组成部分, 随着计算机技术的发展, 网络化的机舱监控系统成为主流^[1]。因此网络化的机舱监控系统已经成为实现舰船自动化的关键, 机舱自动化是船舶自动化的核心内容, 是实现智能船舶的基础。船舶机舱监测设备复杂、监测点众多、数据复杂, 面对机舱监测的海量数据, 人们往往无所适从, 难以从现有数据中发现其隐含的内在关系和规律。船舶管理人员对于船舶的状况判断主要凭借相关经验, 这样难以避免做出一些不恰当的操作, 造成不必要的人力、财力的损失。因此本文结合机舱监测报警系统监测参数复杂众多的特点, 设计了一套融入相对主元分析方法(relative principal component analysis, RPCA)的机舱监控系统。该系统除了具有常规的监控功能外, 还能对存储的系统参

数进行分析, 分析参数隐含的内在关系, 为船舶机舱监控的设备提供有效的故障分析指导。

1 监控系统的设计

本文设计的船舶机舱监测与报警系统主要包括软件和硬件两个方面, 本系统的设计思路是: 首先系统必须满足行业的标准与相关的船级社规范规则、满足船东对系统的功能需求, 然后明确系统设计实现的方法, 其次确定具体的实施步骤, 最后完成系统的设计完成系统的验收。

1.1 监控系统硬件设计

本系统针对实船机舱, 对实船的主要机电设备进行实时监控^[2]。为了保证系统能够在船舶机舱恶劣的环境下稳定可靠的运行, 通过研究相关资料, 最终决定硬件的主控模块采用具有强大抗干扰能力、较高可靠性、能适应恶劣环境的西门子 S7-300 产品作为核心控制器, 来实现对机舱设备的关键参数信号进行实时监控。图 1 是选用 S7-300 作为主控模块的系统网络设计图。

1.2 监控系统软件设计

监控系统的软件主要包括上位机与下位机软件。下位机程序采用 STEP7 来完成, 它的主要功能是实现对船舶机舱监控系统的数据采集, 模拟量数据的标度化处理, 数据的输出来驱动执行机构以及向上位机传送数据并接收上位机传来的数据。上位机的主要功能是从下位机中的数据读取与写入, 上位机对

收稿日期:2016-05-12; 修回日期:2016-08-08。

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(3132016015)。

作者简介:卢光松(1990-),男,贵州人,硕士研究生,主要从事轮机自动化与智能化、轮机控制与仿真方向的研究。

甘辉兵(1981-),男,湖北人,副教授,硕士生导师,主要从事轮机自动化与智能化、轮机控制与仿真方向的研究。

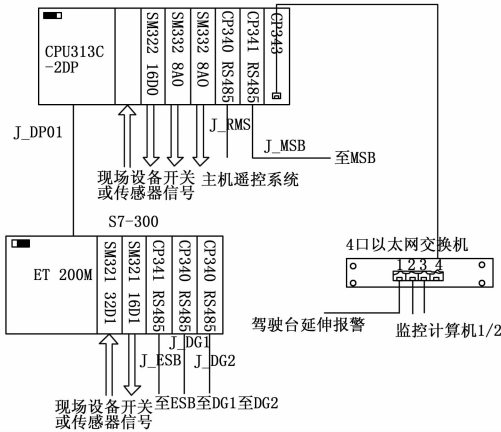


图1 系统硬件组态与网络设计图

从下位机读取的数据进行处理,然后用丰富的表现形式展示给轮机管理工作人员^[3]。以便轮机管理人员对机舱中的机电设备进行集中监控管理以及对相关的参数进行分析。图2是监控系统软件结构设计图。

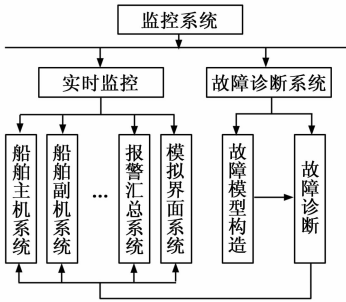


图2 软件结构图

1.3 监控系统软件界面

上位机实现对实时监测机舱中的机电设备运行状况,并通过丰富的表现形式展示给操作人员,本系统的上位机界面采用 Visual Studio 2013 开发,界面设计采用 K—Chief 600 界面风格来设计。它的设计满足船厂和船东具有挑战性的需求,界面设计采用分设备分系统的模块化设计思想来实现。该系统满足各项规范并符合海事部门和船级社的要求。其设计满足船级社的定期无人机舱值守操作规范。监控系统软件界面包括:监控系统的主界面,对机舱中的机电设备分系统进行监视;主机监测总览界面,将主机的有关报警点参数分类在界面中进行监测显示,有利于对监测参数分析,最终实现对系统故障的分析;监测点报警汇总视图,实现对所有的监测点参数名称以及数据报警上限与下限的显示。

2 故障监测方法的选择

相对主元分析方法与最小二乘法是工业过程常用的故障诊断方法^[4]。RPCA 方法的主要功能是去除数据的相关性,降低数据的维数,实现对数据的压缩^[5]。机舱监测系统的规模较大,监测机舱全部机电设备的大量复杂数据,这些数据不可避免地存在一定的关联性。针对这种情况,本系统选择利用 RPCA 的特点对监测的数据进行处理,来实现对机舱监测数据压缩,帮助管理人员及时、准确地发现系统的故障源。下面简要

介绍 RPCA 算法的步骤:

(1) 假设 $X \in R^{n \times k}$ 其中 n 对应数据样本变量的个数, k 代表对应测量周期内测得变量的次数。

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \cdots & x_1(k) \\ x_2(1) & x_2(2) & \cdots & x_2(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n(1) & x_n(2) & \cdots & x_n(k) \end{bmatrix} \quad (1)$$

公式(1)为系统变量序列构成的数据阵。

(2) 定义相对变换为:

$$X^R = X \cdot M = \begin{bmatrix} x_1^*(1) & x_1^*(2) & \cdots & x_1^*(k) \\ x_2^*(1) & x_2^*(2) & \cdots & x_2^*(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^*(1) & x_n^*(2) & \cdots & x_n^*(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & M_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & M \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$X_i^R = M_i X_i^* \quad (3)$$

其中:

$$X_i^* = \frac{X_i - E(X_i)}{m_i} \quad (4)$$

m_i 为相对应变量的标准化因子:

$$m_i = \frac{1}{\max \cdot x_i(k)} \quad (5)$$

式中, M_i 为相对变化算子, $M_i = \mu \cdot m_i$, u_i 是一种根据实际而定的先验信息,体现相应分量在其中的重要程度, X 经相对变换后得到 X^R 的矩阵。

(3) 计算相对变换矩阵 X^R 的协方差矩阵:

$$\varphi_{X^R} = X^{R^T} \cdot X^R \quad (6)$$

计算协方差矩阵 φ_{X^R} 的特征值 λ 与相应的特征向量 P_i , 是第 i 个特征值, 假设满足 P_i 是其对应的特征向量。

$$|\lambda E - \varphi_{X^R}| P_i = 0 \quad (7)$$

(4) 根据累计贡献率来选择相对主元的个数 m :

$$\frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} > 85\% \quad (8)$$

(5) 计算得分矩阵:

$$T = X^R \cdot p \quad (9)$$

(6) 定义:

$$\Lambda = \text{diag}(\lambda_1 \lambda_2 \cdots \lambda_m) \quad (10)$$

(7) 计算 RPCA 方法处理后的 T^2 统计量:

$$T^2 = X^R \cdot P \Lambda P^T (X^R)^T \quad (11)$$

3 RPCA 方法在监控系统中的应用

3.1 RPCA 方法故障诊断步骤

下面详细叙述基于相对主元分析故障分析的步骤:

(1) 历史数据采集。

RPCA 方法的首要任务是采集船舶主机正常工况下历史数据^[6], 选择一个船舶主机的子系统, 采集一个周期内相应子系

统的相关数据。

(2) 相对主元分析。

利用采集的历史数据构造矩阵 \mathbf{X} ，再利用相对变换得到 \mathbf{X}^R ，再求出 \mathbf{X}^R 的协方差矩阵 $\boldsymbol{\varphi}_{\mathbf{X}^R}$ ，然后求解协方差矩阵的特征值以及特征值所对应的特征向量再由 $\frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} > 85\%$ 确定主元数目 m 。

(3) 构造控制限。

$$T_{uc1} = \frac{m(n^2 - m)}{n(n - m)} F_{\alpha}(m, n - m) \tag{12}$$

$F_{\alpha}(m, n - m)$ 为自由度分别为 m 和 $(n - m)$ ，置信度为 α 的 F 分布上限值。

(4) 实时在线数据采集。

采集监控系统一个周期内的参数 X_{new} ，同步骤 2 进行相对主元分析方法来进行故障分析，然后计算 X_{new} 的 T^2 统计量。

(5) 故障分析。

比较 T^2 与 T_{uc1} 的大小，如果 T^2 小于 T_{uc1} 则系统正常，系统自动进入下一个采集周期。反之则系统发生故障，软件提示系统故障，轮机管理人员采取相应的动作。图 3 系统故障监测的流程图。

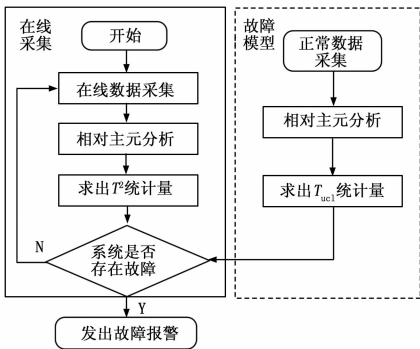


图 3 系统故障监测流程图

3.2 RPCA 方法的具体应用

船舶机舱是一个复杂的环境，监测的数据众多^[7]。如果直接将 RPCA 方法对所有的监测参数进行分析处理，不仅计算工作量大而且难以对出现的故障进行准确定位，而且不利于管理人员的分析处理。将相对主元分析方法融入到机舱监控系统中，首先我们可以针对不同的设备进行监测，然后对设备的不同参数分系统来进行分析。以船舶监控系统监测的船舶主机为例，我们可将船舶主机运行相关的监控参数进行一些细小的子系统，如燃油系统、滑油系统、冷却系统、排气系统等。然后再对某一子系统采集监控参数单独利用 RPCA 方法对其进行故障分析。

本文以主机滑油系统为例利用 RPCA 方法来进行故障分析，滑油系统的主要作用是对运动部件提供足量的润滑油，减少运动部件的摩擦、带走部分热量、密封等作用^[8]。表 1 为监控系统监测的滑油系统部分参数。

对滑油系统进行故障分析的首要任务是采集主机正常工况一个周期内滑油系统的 6 个参数。然后利用采集正常工况下的数据利用 RPCA 方法构造故障诊断模型。根据以上的故障诊

表 1 滑油系统部分监测点参数

编号	测点名称	范围
ME-1	主机滑油进口压力	0~1Mpa
ME-2	主机滑油进口温度	0~120℃
ME-3	主机滑油冷却器进口温度	0~120℃
ME-4	主机滑油冷却器出口温度	0~120℃
ME-5	主机齿轮箱油压	0~2Mpa
ME-6	主机齿轮箱油温	0~120℃

断步骤对数据进行处理。首先用 RPCA 方法对 6 个参数进行降维，然后利用公式 (8) 将 6 个变量最终压缩变成前两个变量来代表滑油系统的参数。当 α 取 0.1 时 $T_{uc1} = 12.24$ 。当在线采集的数据经过主元分析处理后得到的 T^2 大于这个控制限时系统应发出故障报警。

针对滑油系统可能出现的一些故障，首先对滑油系统设置一些常见的故障，然后对于某一种故障出现后采集相应的故障数据，利用事先采集的正常工况下的数据对滑油系统利用 RPCA 方法按照其故障诊断的步骤对滑油系统进行故障分析验证，结果表明利用 RPCA 方法能够准确地实现对系统故障的监测，验证了 RPCA 方法融入到监控系统的有效性。

利用故障前后采集的数据来验证了相对主元方法对于滑油系统故障诊断的有效性。对于机舱中的其它子系统也可按照此方法来实现对系统故障的监测。将此方法成功应用于船舶监控系统中，协助轮机管理人员进行系统故障的分析，增强了船舶监控系统的功能，大大提高了人员的工作效率，减轻了人员的劳动强度。

4 结语

本文针对传统的机舱监测报警系统中含有大量的复杂数据，轮机管理人员难以从中发现这些数据背后隐藏的关系等问题，提出并设计了一套融入 RPCA 方法的船舶机舱监测报警系统。协助轮机管理人员及时准确地发现故障的源头。结果表明该系统稳定可靠、界面人机交互友好、满足实船对监控系统的要求。扩展了船舶机舱监测报警系统的功能，提高了船舶航行的安全和船舶营运的效率、降低管理人员的疲劳强度。

参考文献：

[1] 甘辉兵, 任光, 张均东. 基于数据挖掘的船舶机舱监控系统[J]. 中国造船, 2011, 04: 214-221.

[2] 张厂. 基于 PLC 的船舶机舱监控系统的应用研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2010.

[3] 雍强. 船舶机舱监测报警系统的研究与设计[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.

[4] 王天真, 刘远, 汤天浩, 等. 基于相对主元分析的动态数据窗口故障检测方法[J]. 电工技术学报, 2013 (1): 142-148.

[5] 王天真. 智能融合数据挖掘方法及其应用[D]. 上海: 上海海事大学, 2006.

[6] 文成林, 胡静, 王天真, 等. 相对主元分析及其在数据压缩和故障诊断中的应用研究[J]. 自动化学报, 2008 (9): 1128-1139.

[7] 崔文彬, 张跃文, 吴桂涛, 等. BP 神经网络在远洋船舶远程监控中的应用研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2009 (8): 935-939.

[8] 战兴群, 翟传润, 张炎华, 等. 周期无人值守机舱监测报警系统方案研究[J]. 中国造船, 2002 (1): 77-82.