

# 基于 CBR 的飞机机械故障检测系统设计

李玮 曲鸣飞

(北京电子科技职业学院航空工程学院 北京 100176)

**摘要:** 异常数据需要执行的故障匹配范围较大, 导致飞机机械故障检测耗时较长。为此, 本文提出基于 CBR 的飞机机械故障检测系统设计研究, 以搭载了 TI AM335X cortex-A8 高性能处理器的 MYC-C335X-GW 开发板作为系统的硬件结构, 在建立 CBR 数据库阶段将故障案例对应的参数信息进行拆分处理, 再按照属性对数据分类, 在故障案例匹配阶段, 将分层检索与归纳索引进行有机结合, 以飞机实际故障数据为目标在 CBR 数据库中逐层向下匹配, 利用最后一级检索结果, 采用关联检索 + 最近邻索引的方式, 将相近度最高的案例作为故障检测结果。测试结果表明, 设计系统可以在 10.0s 内完成对飞机单一机械故障的检测, 在 20.0s 内完成对飞机并行机械故障的检测。

**关键词:** CBR; 飞机机械故障; 检测系统; 参数拆分

## 0 引言

当飞机存在机械故障时, 事故发生率也会随之大大提升, 此时, 实施对飞机机械故障的可靠诊断就成为了保障其运行安全极为重要的因素之一<sup>[1]</sup>。受飞机机械组成系统自身复杂性较高的特性影响, 采用普通的故障诊断方法对其进行检测时, 在精准性上存在一定的不足。针对该问题, 诸多行业专家及学者展开了相关研究, 其中, 张燕霞等将 VMD-SVD 和 SVM 进行有机结合, 并应用到对飞机旋转机械故障的诊断研究之中, 在一定程度上提高了诊断阶段的可靠性, 但是其时间开销较大, 对应的检测效率有待提升<sup>[2]</sup>。郭皓辰等通过构建知识工程, 实现对飞机装配过程故障的智能诊断, 提高了诊断的效率, 并降低了过程中的人工投入, 但是其需要大量基础数据的支撑, 因此需要大量的前期准备工作<sup>[3]</sup>。彭博等利用深度学习对 Laplacian 正则化自动编码器进行优化, 并应用到对飞机旋转机械故障的诊断中, 提高了诊断结果的可靠性, 但是其受限于元数故障数据的约束, 对于新的故障类型难以实现有效检测<sup>[4]</sup>。苏乃权等以旋转机械故障为研究目标, 通过构建高价值小样本数据集, 构建了 NN 模型实现对其的诊断, 诊断结果的准确率得到了大幅提升, 但是对样本数据集的质量要求较高<sup>[5]</sup>。通过以上分析可以看出, 对飞机机械故障检测问题的研究仍然存在巨大空间。

为此, 本文提出基于 CBR 的飞机机械故障检测系统设计研究, 通过构建案例库, 匹配飞机机械状态参数与案例库内案例之间的对应关系, 以此实现对飞机机械故障的有效检测。

## 1 硬件设计

由于本文在系统设计中应用了 CBR (case-based reasoning, 案例推理), 为了确保检测系统能够根据采集到的状态参数快速匹配到对应的案例信息, 需要在系统内存储大量的案例数据, 这就意味着系统硬件需求具备强大的处理能力<sup>[6]</sup>。为此, 本文 MYC-C335X-GW 开发板作为系统的硬件载体, 其采用 TI AM335X cortex-A8 高性能处理器, 且支持光口、Wi-Fi/ 蓝牙、4G LTE 等高速通信应用接口, 为应用系统提供了 Linux 及 MYIR MEasy IOT Demo 软件支持大大降低了开发阶段的成本。MYC-C335X-GW 采用 2 组 80PIN 脚 B2B 建立连接器与底板之间的连接关系, 实现对信号的扩展, 满足系统的快速开发需求, 使得核心板体积减少 45%, 尺寸为 50mm × 40mm。MYC-C335X-GW 满足物联网 MQTT、TCP/IP 等多种协议, 保障设计系统可以轻松上云, 使得故障数据计算变得简单快捷, 终端设备的连接也更稳定可靠。在双千兆网口, WIFI/BT 蓝牙模块, Mini PCIE 4G 模块接口、RS232/RS485 接口的共同作用下, 支持 RGB LCD, LVDS 多元显示输入和输出<sup>[7]</sup>。MYC-C335X-GW 还搭载了 TI Cortex-A8 内核 + 高达 1GHz 主频, 板上集成 DDR3、flash/eMMC、EEPROM 等, 内存、PMIC 电源管理芯片嵌在 8 层高密度高速电路板中, 核心板上包含处理器、DDR3/DDR3L、EEPROM、Nand Flash、eMMC, 对应的 MIPS 为 1600。其中, Nand Flash 和 eMMC 两者根据系统的设计需求进行选择贴片<sup>[8]</sup>。

MYC-C335X-GW 底板设计了 12V 电源供电、双千兆以太网、LVDS、RGB LCD、用于 4G LTE 的 MINI

PCI-E 接口、WIFI 及蓝牙模块、USB HOST、RS485、RS232 等外设接口。通过这样的方式,保障飞机机械故障检测系统能够实现多源数据的快速处理,提高检测的效率。

## 2 软件设计

### 2.1 构建 CBR 数据库

为了最大限度缩短在数据定位阶段的时间开销,本文在建立 CBR 数据库阶段将故障案例对应的参数信息进行拆分处理,任意单一故障案例可以表示为:

$$h = \{h_1, h_2, h_3, \dots, h_n\} \quad (1)$$

式中:  $h$  - 飞机机械故障案例;

$h_n$  - 飞机机械故障对应的参数信息。

在此基础上,将多个案例分解后就得到故障参数信息集,直接在其中匹配飞机实际机械状态数据需要的时间较长,因此,本文按数据的属性对上述数据进行分类处理,具体的分类方式可以表示为:

$$S_j = \frac{h_n}{p} \quad (2)$$

式中:  $S_j$  - 以属性  $p$  为基础的分类结果。

通过这样的方式,使得数据以相对规则化的方式有机排布。在匹配飞机实际机械状态数据时,可以根据其属性直接在目标分类中进行匹配计算,以此降低对应的时间开销<sup>[9]</sup>。

### 2.2 基于 CBR 的故障检测

首先,通过将分层检索与归纳索引进行有机结合,以归纳索引形成的决策树作为目标数据在 CBR 数据库中逐层向下匹配的基础,其对应的索引匹配机制可以表示为:

$$p_j(x) = k \frac{\sum x_i}{s_j} \quad (3)$$

式中:  $p_j(x)$  - 在归纳索引形成的决策树  $j$  层与飞机实际机械状态数据匹配的数据信息;

$k_j - X_i$  的权重系数;

$x_i$  飞机实际机械状态数据中的任意单一属性参量;

$s_j$  - 归纳索引形成的决策树  $j$  层对应的故障案例数据信息。

按照式 (3) 所示的方式,直至无法在执行在下一层决策树层级的信息匹配后,再利用关联检索的方式,结合最近邻索引关联飞机实际机械状态数据与库中案例,并选出相近度最高的案例作为对应数据的故障检测,此时的索引匹配机制可以表示为:

$$h(x) = \max \sum w_{ij} \text{sim}(p_j(x), h) \quad (4)$$

式中:  $h(x)$  - 飞机实际机械状态数据匹配的故障案例信息,也就是最终的故障检测结果;

$W_{ij}$  - 归纳索引形成的决策树  $j$  层匹配结果在故障案例中的权重系数;

$h$  - 故障案例数据库中的任意案例信息<sup>[10]</sup>。

通过这样的方式,实现对飞机机械故障的检测。

## 3 系统功能测试

为了更加直观地对本文设计基于 CBR 的飞机机械故障检测系统的功能,进行了应用测试,同时利用文献 [3] 提出的以知识工程为基础的飞机装配故障智能方法,文献 [4] 提出的基于深度 Laplacian 正则化自动编码器的检测方法和文献 [5] 提出的建立在高价值小样本基础上的检测方法在相同条件下进行测试。通过对比对故障的检测效果,分析本文设计系统检测功能的可靠性。

### 3.1 测试环境设置

本文以实际的飞机机械故障信息为测试数据,其中,对应的故障问题分别为:

- (1) 刹车温度间歇性不指示 (左前刹车温度传感器电接头损坏引起);
- (2) 右后刹车温度传感器温度指示故障;
- (3) 左后刹车温度指示“-”;
- (4) 驾驶舱左后刹车无温度指示 (温度传感器断裂引起);
- (5) 右前侧刹车组件漏油;
- (6) 左前刹车温度传感器烧蚀变形。

在此基础上,将对应的故障参数作为故障检测的基础数据,分别统计不同方法的检测结果。

### 3.2 测试结果

统计了三种方法对上述 6 种故障检测的时间开销,得到的结果如下表所示。

表 故障检测时间开销统计表

故障编号	文献 [3] 方法 /s	文献 [4] 方法 /s	文献 [5] 方法 /s	本文设计系统 /s
(1)	15.44	10.44	12.80	7.42
(2)	8.26	12.85	17.94	6.33
(3)	7.11	10.03	10.16	5.06
(4)	10.26	12.66	15.93	6.58
(5)	19.45	11.35	20.24	8.06
(6)	20.22	13.24	22.85	9.22

从表中可以看出,对比不同方法的检测结果,其中,文献 [3] 方法对于右后刹车温度传感器温度指示故障和左后刹车温度指示“-”故障的检测效率较高,均在 10.0s 以内,但是对于右前侧刹车组件漏油故障和左前刹车温度传感器烧蚀变形故障的检测时间均在 20.0s 左右,这在极大程度上威胁了飞机行驶的安全。相比之下,文献 [4] 方法对测试设置的 6 种不同故障类型的检测时间表现出了较高的稳定性,基本稳定在 10.0 ~ 13.5s 范

围内,具有较高的检测效率,但是整体上仍存在一定的提升空间。文献[5]的检测结构同样表现出了较为明显的不稳定性。在本文设计系统的检测结果中,对测试设置的6种不同故障类型的检测时间均稳定在10.0s以内,与三种对比方法相比具有明显优势。测试结果表明,本文设计系统可以实现对单一飞机机械故障的快速检测。

考虑到飞机机械故障存在并发的可能性,因此,本文设置了(1)+(2)、(2)+(3)、(3)+(4)、(4)+(5)、(1)+(5)共5种组合形式的故障,对比不同方法检测的时间开销,得到的结果如图所示。

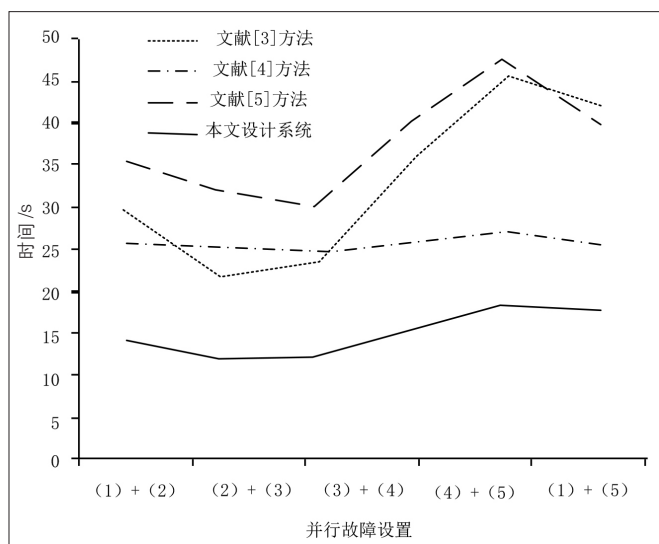


图 4 并行故障检测时间对比图

从图中可以看出,对比不同方法的对并行故障的检测结果,其中,文献[5]方法对并行故障的检测时间开销最长,最大值达到了47.12s,文献[4]的时间开销相对较低,也相对稳定,但是与本文设计系统相比,仍然存在一定差距,在本文系统的检测结果中,最大时间仅为18.28s。测试结果表明,本文设计的基于CBR的飞机机械故障检测系统可以实现对并行故障的有效检测。

#### 4 结语

CBR作为有效提升飞机机械故障诊断速度的关键技术之一,以其为基础构建相应的故障检测系统将在保证飞机机械安全性方面发挥重要价值。本文提出基于CBR的飞机机械故障检测系统设计研究,结合CBR方法对数据处理效率的需求设计了可靠的硬件,通过匹配与飞机机械实际状态数据一致的故障案例,实现了对飞机机

械故障的有效检测。希望通过本文的研究,为飞机机械故障问题的解决提供参考价值,通过及时发现故障将对应的安全风险降到最低。

**基金项目:**北京电子科技职业学院科研课题:CFM56高涵道比涡轮风扇发动机建模技术研究,项目编号:2022X019-KXY。

#### 参考文献:

- [1] 高玉才,付忠广,王诗云,等.基于Bi-LSTM和自注意力机制的旋转机械故障诊断方法研究[J].中国工程机械学报,2022,20(03):273-278.
- [2] 张燕霞,卢文刚.基于VMD-SVD和SVM的旋转机械故障诊断研究[J].机电工程,2022,39(03):324-329.
- [3] 郭皓辰,汪含,楼林,等.基于知识工程的飞机装配过程故障智能诊断技术[J].航空制造技术,2022,65(07):90-95+109.
- [4] 彭博,张毅,蹇清平,等.深度Laplacian正则化自动编码器的旋转机械故障诊断[J].机械设计与制造,2022(07):114-120.
- [5] 苏乃权,蔡业彬,张清华,等.基于高价值小样本的石化装置旋转机械故障诊断NN模型[J].机床与液压,2021,49(24):190-194.
- [6] 吴定海,曹进华,张云强,等.一维改进LeNet-5及机械故障诊断应用[J].机械科学与技术,2022,41(05):688-694.
- [7] 高康平,徐信芯,焦生杰,等.EEMD-ICA联合降噪的旋转机械故障信号检测方法[J].噪声与振动控制,2022,42(02):95-101.
- [8] 金樟民,方学宠,娄益凡,等.基于EDMD与改进KPCA算法的机械设备故障诊断方法[J].起重运输机械,2022(07):58-65.
- [9] 郑近德,苏缪涎,潘海洋,等.自适应噪声加权优选经验模态分解及其在机械故障诊断中的应用[J].振动工程学报,2021,34(04):869-878.
- [10] 花泽晖,石娟娟,王艳芳,等.调频率自适应匹配线性变换及其对旋转机械故障诊断研究[J].振动工程学报,2021,34(05):1053-1063.

**作者简介:**李玮(1982-),女,汉族,天津人,硕士研究生,讲师,研究方向:机械工程、飞机发动机结构与系统。