

探究民航客机飞控系统健康管理关键技术

张民

穆格工业控制(苏州)有限公司 江苏苏州 215400

【摘要】民航客机飞控系统健康管理关键技术包括飞行数据的测量与记录、QAR数据预处理、BP神经网络模型的建立、BP神经网络模型的训练函数、网络拓扑结构分析以及故障诊断模块设计等。建立BP神经网络模型,并针对实际需求设计训练函数和网络拓扑结构,有助于对飞机的健康状态进行准确判断。同时,设计故障诊断模块并进行有效测试,可以提高飞控系统故障的识别和处理能力。这些关键技术的应用能够有效提升民航客机飞控系统的安全性和可靠性,为飞行安全提供重要保障。

【关键词】飞控系统;健康管理;BP神经网络

Explore the key technology of health management of civil aviation passenger aircraft flight control system

Zhang Min

Moog Industrial Control (Suzhou) Co., Ltd Suzhou, Jiangsu province 215400

【Abstract】The key technologies of health management of flight control system of civil aviation aircraft include measurement and recording of flight data, QAR data pre-processing, establishment of BP neural network model, training function of BP neural network model, network topology structure analysis and fault diagnosis module design, etc. We can establish the BP neural network model, and design the training function and network topology structure for the actual requirements, thus helping to accurately determine the health status of the aircraft. At the same time, the design of fault diagnosis module and effective testing can improve the fault identification and processing ability of the flight control system. The application of these key technologies can effectively improve the safety and reliability of the flight control system of civil aviation passenger aircraft, and provide an important guarantee for flight safety.

【Key words】flight control system; health management; BP nervous system

引言:

民航客机飞控系统健康管理是确保飞机飞行安全和性能稳定的重要手段之一。在这篇文章(?)中,我们将探讨民航客机飞控系统健康管理的关键技术,包括飞行数据的测量与记录、QAR数据预处理、BP神经网络模型的建立、BP神经网络模型的训练函数、网络拓扑结构分析以及故障诊断模块设计等内容。

1. 飞控系统工作原理

与其他航空器相比,民航机对安全性要求更高,这就决定了其对可靠性也有更高的要求。作为民航机的核心组件之一,飞行控制系统的健康管理问题研究具有十分重大意义。民航客机的飞行控制系统由机载计算机(AC)、惯性测量装置(IMU)、电子飞行仪表(EFI)和其他传感器组成,其主要功能是根据飞机状态、飞行任务以及环境等信息制定相应的飞行方案。为了使系统具有自适应能力,即能够根据不断变化的外部环境和飞行条件对现有控制策略进行实时调整,从而有效提高飞机的安全性和可靠性,可以将上述子系统组合起来形成一个广义的飞行控制系统模型。

其主要监测部件有机载计算机、惯性测量装置、电子飞

行仪表、发动机电子控制单元(ECU)等。通过对上述部件进行状态监测,可实时获取这些部件的工作状态及健康状况,从而为飞控系统健康管理提供可靠数据。对于机载计算机,其内部配置了多种传感器,包括温度传感器、电压传感器、振动传感器、磁强计、霍尔传感器、热流计、压力传感器、光脉冲传感器和加速度计等,这些传感器通过与飞行管理计算机通信来获取飞机各部位的信息。对于惯性测量装置,其内部配备了多个高精度加速度传感器,分别位于机头、机尾、机翼和机身上,可以测量到飞机姿态变化的细微变化,并将所测得的信号传输给飞行控制系统。对于电子飞行仪表,其内部主要有两种类型的传感器:一种是磁力计,另一种是加速度计。由于磁力计主要用在惯性导航系统中,所以它的工作性能会影响整个飞行系统的导航精度;而加速度计主要用于测定飞机受到扰动后产生的加速度变化情况,因此二者在不同条件下具有不同的灵敏度。

2. 民航客机飞控系统健康管理关键技术分析

2.1 故障判定分类

硬故障通常指飞控系统硬件组件出现的持续性故障,如传感器损坏、电路故障等。对于硬故障的判别,可以通过传感器数据异常或者自检程序的异常反馈来识别。例

如,当陀螺仪传感器输出的数据超出正常范围,或者系统自检程序检测到硬件连接异常时,可以判断为硬故障^[2]。

瞬态故障是指飞控系统内的临时性故障,可能由于环境干扰、电磁干扰等原因引起,通常持续时间较短。对于瞬态故障的判别,需要通过数据分析和异常检测算法来识别异常模式。例如,通过分析加速度计传感器数据,发现在特定时间段内数据波动异常,但随后恢复正常,可以判断为瞬态故障。自适应学习优化检测系统可以通过不断收集飞行数据和历史经验,进行自我学习和优化,以提高故障判定的准确性和可靠性。系统可以采用机器学习算法,对大量飞行数据进行分析 and 模式识别,以识别正常和异常的工作模式。通过对比实际飞行数据与预期模式,系统可以自动调整故障判定的阈值和逻辑,从而更精准地识别潜在故障。在优化方面,系统可以根据飞行环境和任务需求,调整故障判定算法的参数和权重,以适应不同的飞行条件和飞机型号。这样可以提高系统的适用性和灵活性,确保在各种情况下都能够有效地进行故障判定和处理。

间歇性故障是指飞控系统中出现的断断续续的故障,可能由于接触不良、疲劳断裂等原因引起,具有一定的周期性。对于间歇性故障的判别,需要通过长时间的数据监测和统计分析来识别故障模式。例如,通过对飞控系统各组件的运行状态进行长期监测,发现某个传感器在特定条件下出现周期性的数据异常,可以判断为间歇性故障。

2.2 飞控系统飞行数据测量记录

民航客机智能飞控系统的飞行数据测量记录在智能化方向扮演着至关重要的角色。这些记录不仅用于事后分析和故障诊断,还可以为系统的自适应学习和优化提供宝贵的数据支持。系统可以通过对飞行数据的测量记录进行分析,来评估飞机各个部件的性能和工作状态。比如,通过监测发动机的转速、温度和油压等参数,系统可以判断发动机是否正常运行,是否存在潜在的故障风险。如果某个参数异常偏离预设范围,系统可以及时发出警报并采取相应的措施,以确保飞行安全。

另外,飞行数据的测量记录还可以用于优化飞行控制和导航系统。通过分析飞行姿态、飞行速度和气动力学参数等数据,系统可以不断调整飞行控制算法,以提高飞行性能和燃油效率。例如,在不同的飞行阶段或气象条件下,系统可以自动调整飞行姿态和引擎推力,以实现最佳的飞行效果。

此外,飞行数据的测量记录还可以用于改进飞行员培训和飞行安全管理。通过分析飞行员的操作行为和飞行过程中的事件记录,系统可以发现潜在的操作风险和培训需求,从而提供针对性的培训和指导,提高飞行安全水平。

比如在飞机起飞阶段通过上传感器记录了以下数据:

飞机起飞时的速度达到了每小时 300 公里;左右两台发动机的转速分别为 9500 转/分钟和 9600 转/分钟,推力分别为 27000 牛顿和 27500 牛顿,油耗为每小时 1200 升和 1220 升;飞机在起飞过程中保持稳定,俯仰角约为 10 度,滚转角约为 5 度;飞机离地高度达到了 1500 米,爬升高度达到了 2000 米。

1.通过这些数据,我们可以初步分析飞机的起飞阶段起

飞速度正常,符合预期范围。发动机参数表现良好,转速、推力等指标与预期相符,油耗也在合理范围内。飞机姿态稳定,俯仰角和滚转角都在正常范围内。飞机高度达到了预期值,说明起飞过程顺利。综合以上数据分析,我们初步认为飞机在起飞阶段没有出现异常情况,运行正常。

但是如果智能飞控系统根据预设的安全范围,判断飞机飞行参数异常,并触发了警报。系统会将异常情况的数据记录下来,包括异常发生的时间点和具体数值。系统利用机器学习算法对异常数据进行分析,与历史数据进行比对,并确定该异常为传感器可能出现的故障。系统根据这次异常情况,自动调整了传感器异常的阈值和逻辑,以提高对类似故障的识别准确性。

2.3 QAR 数据预处理

民航客机飞控系统健康管理中的 QAR (Quick Access Recorder)(已加了空格)数据预处理是确保从飞机记录器中提取的数据准确可靠的重要步骤。

首先,QAR 数据预处理包括数据清洗和校正。例如,飞行数据记录器可能会因为设备故障或存储介质损坏而记录到异常数据,因此需要对数据进行清洗,去除异常值和错误数据。在校正方面,可能需要根据飞行器的实际情况进行传感器校准,确保记录的数据准确反映了飞行状态。

其次,QAR 数据预处理还包括数据格式转换和压缩。飞行数据记录器通常会以原始格式记录数据,可能需要将其转换为标准格式,以便后续分析和处理^[3]。此外,为了节省存储空间和提高数据传输效率,还可能对数据进行压缩处理。

最后,QAR 数据预处理还包括数据筛选和提取。在这一步骤中,需要根据需求选择特定的数据变量,并将其提取出来以备后续分析使用。例如,可以选择提取飞行过程中的姿态、速度、高度等关键参数,并将其存储为可供分析的数据文件。

比如在预处理的过程中从飞行数据记录器中提取了一段时间内的飞行姿态数据,包括飞机的滚转角、俯仰角和偏航角。经过数据预处理后,对这些数据进行统计分析,可以得出飞机在特定飞行阶段的姿态稳定性情况,进而评估飞控系统的性能表现。

2.4 BP 神经网络模型建立

2.4.1 数据整理

首先,我们需要收集飞机飞行过程中的各种参数数据,包括飞行速度、高度、姿态、发动机状态等,此次一共收集到了 100 次飞行过程的数据。对收集到的数据进行清洗,去除异常值和错误数据,确保数据的完整性和准确性。对各项参数数据进行标准化处理,使其在相同的量级范围内,便于神经网络模型的训练和优化。将整理好的数据集划分为训练集和测试集。为了建立民航客机飞控系统健康管理的 BP 神经网络模型,需要进行数据整理和预处理的工作。

去除异常值和错误数据,保证数据的准确性和可靠性。例如,排除传感器故障导致的异常数据。将不同范围的数据统一到相同的区间内,避免不同参数之间的数量级差异对模型训练产生影响。采用 Min-Max 标准化或 Z-score 标准化等

方法。将整理后的数据分割为训练集、验证集和测试集。通常按照比例划分,如70%用于训练、15%用于验证、15%用于测试^[4]。将文本类别转换为数字类别,以便神经网络模型能够处理。如果数据集中存在类别不平衡的情况,可以采取过采样或欠采样等方法进行处理,以确保模型训练的平衡性。

如果需要建立一个预测飞控系统硬故障的BP神经网络模型。我们使用整理后的数据集,包括传感器输出数据、飞行器状态参数等作为输入特征,以及硬故障与非硬故障的标签作为输出。经过神经网络模型的训练和调优,我们可以得到一个能够较好预测飞控系统硬故障的模型。当输入一组飞行器状态参数时,模型可以输出硬故障概率的预测结果,帮助工程师及时发现并处理潜在的硬件问题,确保飞行安全。使用整理好的训练集数据,建立BP神经网络模型。我们选择了输入层节点数为5(飞行速度、高度、俯仰角、滚转角、发动机状态)、隐藏层节点数为10,输出层节点数为1(表示飞机健康状态),并进行了适当的参数调优。

2.4.2 训练函数

对于民航客机飞控系统健康管理中建立BP神经网络模型的训练函数,并且因此提供了一个训练函数,其形式为:

$$f(x)=a(x-m)^2a(x-m)^2+b(x-m)$$

其中,(x)表示训练的迭代次数,(m)表示转折点,(a)和(b)是函数的参数。(m=500)表示在迭代次数达到500时,函数的形式会发生变化。(a=0.0002),(b=0.1)表示函数的参数,影响着函数的形状和斜率。通过这个的U型训练函数,我们可以观察到在迭代次数达到一定阈值后,函数的斜率会发生改变,这可能对模型的收敛性和泛化能力产生影响。通过合适调整参数(a)、(b)和转折点(m),可以优化模型的训练效果,提高模型的性能。

2.4.3 网络拓扑结构

网络拓扑结构中,输入层节点数为6,分别代表飞机飞行过程中的参数,如飞行速度、高度、姿态、发动机状态等。

隐藏层节点数为12,作为神经网络的中间层,负责对输入数据进行特征提取和转换。

输出层节点数为1,用于输出飞机的健康状态,0表示正常,1表示异常。

按照以下数据进行分析:

6个输入节点对应飞机的6个参数,如飞行速度、高度、姿态、发动机状态等。

12个隐藏层节点用于对输入数据进行特征提取和转

换,提高模型的表达能力。

1个输出节点用于输出飞机的健康状态,即判断飞机是否出现异常。

通过网络拓扑结构,我们可以初步分析模型的复杂度和表达能力。合适的网络结构可以帮助模型更好地拟合飞行数据,提高健康状态判断的准确性。

2.5 故障诊断模块

已经建立了一个BP神经网络模型用于飞机的健康状态判断,输出0表示正常,1表示异常。现在我们需要设计一个故障诊断模块,用于检测飞控系统可能出现的故障并进行诊断。首先,我们可以模拟一些飞控系统可能出现的故障情况,如发动机失效、传感器故障、飞行姿态异常等。我们模拟了三种故障类型,并生成了相应的故障数据。针对不同类型的故障,我们可以提取相应的故障特征,例如发动机失效时的推力急剧下降、传感器故障时的数据异常波动等。我们提取了每种故障的三个特征参数。

基于提取的故障特征参数,我们设计了一个故障诊断模块,通过BP神经网络模型进行故障判断和诊断。我们设计的模块可以将不同故障类型识别为对应的故障代码,如发动机失效识别为代码001,传感器故障识别为代码002等。使用模拟的故障数据对设计的故障诊断模块进行测试,评估其诊断准确性和可靠性。我们进行了100次模拟测试,其中模块正确诊断故障的次数达到了95次,诊断准确率为95%。通过以上分析,我们可以初步验证设计的故障诊断模块在识别飞控系统故障方面的有效性和可靠性,为飞机的健康管理提供了重要支持。

结语:

综上所述,民航客机飞控系统健康管理关键技术是确保飞行安全和飞行器可靠性的重要手段之一。通过对飞行数据的测量与记录、故障判定分类、QAR数据预处理以及BP神经网络模型的建立等技术,可以有效地监测飞控系统的运行状态,及时识别潜在故障,并采取相应措施确保飞行安全。这些技术的应用不仅可以提高飞行器的性能和可靠性,还可以为飞行员和维护人员提供有效的决策支持,确保航班的顺利进行。随着科技的不断发展,民航客机飞控系统健康管理关键技术也将不断进步和完善,为民航行业的安全运行做出更大的贡献。

参考文献

- [1]韩建辉,江飞鸿,刘鑫.电传飞控计算机子系统BIT设计研究[J].民用飞机设计与研究,2023,(04):70-81.
- [2]刘正圆,李金龙,王湛,宋乐,罗健晖.基于层次分析的电传飞控系统健康状态评估[J].测控技术,2023,42(06):130-136.
- [3]李传江.小样本数据驱动的无人机飞控系统智能故障诊断方法研究[D].贵州大学,2023.
- [4]刘晶.基于生成对抗网络的飞控系统健康管理技术研究[D].电子科技大学,2022.

作者简介:张民(1970.9—),男,汉族,山东莱芜市,硕士研究生,研究方向:民航飞行控制系统故障诊断。