



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106649727 A

(43)申请公布日 2017.05.10

(21)申请号 201611205514.6

(22)申请日 2016.12.23

(71)申请人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

(72)发明人 孙蕊 张羽成 胡明华

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 熊玉玮

(51)Int.Cl.

G06F 17/30(2006.01)

G05B 23/02(2006.01)

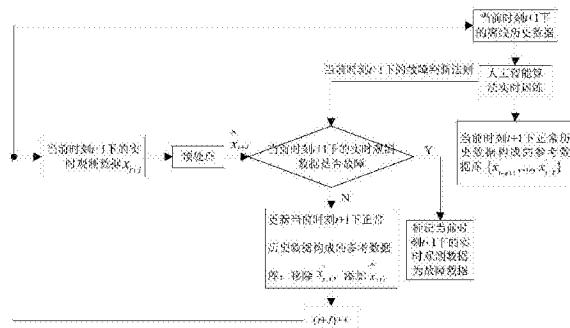
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法

(57)摘要

本发明公开了一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法，属于无人机故障检测的技术领域。本发明将经判断法则筛选出的正常的无人机实时飞控数据融入历史数据，由根据历史数据训练出的判断法则来判断未来时刻未知故障的无人机飞控数据是否故障，动态更新正常历史数据构成的参考数据库，从而保证了判断法则的实时更新，并保证了正常历史数据构成的参考数据库的实时特征性，利用该动态更新的判断法则能够对无人机飞控数据中的孤立点异常、上下文异常、累计异常等多种异常形式进行有效地检测，从而有效提高了故障检测的查全率和正确率，同时降低了误警率。



1. 一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法，其特征在于，采集无人机飞控系统在当前时刻下的实时观测数据，采用人工智能算法对当前时刻下的离线历时数据进行训练得到当前时刻下的故障判断法则并筛选出当前时刻下正常历史数据构成的参考数据库，采用当前时刻下的故障判断法则判断当前时刻下的实时观测数据故障与否，在当前时刻下的实时观测数据正常时更新当前时刻下正常历史数据构成的参考数据库，更新离线历史数据，周而复始地，根据更新后的离线历史数据实时地训练出故障判断法则并实时地筛选出正常历史数据构成的参考数据库，根据实时训练出的故障判断法则处理当前时刻下实时观测数据的结果在线更新正常历史数据构成的参考数据库。

2. 根据权利要求1所述一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法，其特征在于，无人机飞控系统在当前时刻下的实时观测数据包含：三轴陀螺仪、GPS、加速度计、气压计的测量数据。

3. 根据权利要求1所述一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法，其特征在于，在当前时刻下的实时观测数据正常时更新当前时刻下正常历史数据构成的参考数据库，具体方法为：以具有窗口长度的时间序列表示当前时刻下正常历史数据构成的参考数据库，采用具有所述窗口长度的滑动窗口模型剔除具有窗口长度的时间序列中的末尾数据，添加当前时刻下的实时观测数据在具有窗口长度的时间序列的末尾。

4. 根据权利要求1所述一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法，其特征在于，在采用当前时刻下的故障判断法则判断当前时刻下的实时观测数据故障与否之前，先采用卡尔曼滤波算法去除当前时刻下实时观测数据中的噪声。

5. 根据权利要求1所述一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法，其特征在于，采用包含但不限于人工神经网络、决策树的人工智能算法对当前时刻下的离线历时数据进行训练得到当前时刻下的故障判断法则并筛选出当前时刻下正常历史数据构成的参考数据库。

一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法

技术领域

[0001] 本发明公开了一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法，属于无人机故障检测的技术领域。

背景技术

[0002] 近年来，随着故障预测与健康管理技术（PHM）概念向无人机综合管理系统的引入，无人机安全管理信息化、智能化的需求日益提高。无人机安全管理的核心部分——安全监控和异常预警，能够对无人机的健康状态进行全面监控，对提高无人机安全性能、保障维修效率、降低寿命周期具有重要意义。无人机的飞行控制系统作为无人机的核心部件，由多种传感器、网络链路、执行装置等子系统组成，飞控传感器测量飞机的实时飞行状态参数并把数据反馈至飞行控制计算机。飞行控制计算机解算飞行控制律从而完成无人机自动驾驶的飞行任务，但是飞控系统因其工作环境较为复杂极易发生故障。

[0003] 按照研究对象来分，当前国内外针对无人机安全监控和故障预警这个特有问题的研究主要集中在广义的无人机网络通信链路安全、无人机飞控传感器故障检测、无人机异常行为的分析等方面。

[0004] 近些年来国内有关高校及科研院所的研究人员对无人机飞控系统传感器输出数据状态异常、硬件故障检测做了广泛的研究。西北工业大学的研究团队们对基于改进的主元分析法飞控系统故障检测、改进的离散小波-优化极限学习故障检测等方法进行了研究；南京航空航天大学姜斌教授团队针对无人机的自适应故障检测、容错导航等算法进行了一系列研究；北京航空航天大学钟麦英教授团队针对基于扩展卡尔曼滤波、容积卡尔曼滤波的无人机飞控系统故障检测方法进行了研究；此外，国防科学技术大学等科研单位也对无人机故障检测等多个方面进行了研究。这一系列的研究为无人机飞控系统的故障检测奠定了理论基础与技术基础。

[0005] 国外的高校和研究机构也对无人机飞控故障问题进行了广泛的研究，Kim等提出了一种无人机受到网络袭击、硬件攻击、传感器欺诈和无线攻击下的异常飞行检测框架。Cork and Walker设计了基于IMM-UKF估计的飞控传感器数据状态分析的无人机异常数据检测方法。Lin等和Khalastchi等通过对无人机的飞行数据、管道数据、引擎数据、伺服数据流的状态进行监测和分析，建立异常飞行判断模型。Mitchell and Chen在网络链路数据领域提出了一种基于入侵检测系统的自适应无人机行为划分标准。Birnbaum等设计了基于实时递推最小二乘系统的飞行动态和飞控参数的检测方法来监测无人机健康状态，之后Birnbaum等对无人机飞控系统实时输出的飞行位置、动态信息、时间信息和预设的无人机飞行计划相关信息进行匹配以实现无人机状态的监测。此外，还有一些针对广义飞行器飞控故障检测的研究。

[0006] 针对以上研究内容，从其理论、方法和技术路线来看，我们可以得出故障检测的核心算法可分为以下三大类：模型法（model based）、知识经验法（knowledge based）和数据驱动法（data driven）。

[0007] 近年来,随着机器学习和数据挖掘的快速发展,数据驱动法逐步成为故障诊断研究的热点和方向。数据驱动的故障诊断法在各领域的故障检测中广泛应用,以系统运行过程的数据为基础,通过各种数据处理与分析方法挖掘出数据中隐含的信息,完成系统数据的异常检测。Khalastchi等提出了实时在线数据驱动的自动机器人机载传感器异常检测方案。Beghi等提出了基于数据驱动的空调设备冷水机组系统故障检测方案。Yin等提出了基于数据驱动的风力涡轮系统故障诊断方法。此外,自动化、机械等领域也在广泛研究基于数据驱动的方法。因此,数据驱动的方法因其灵活多变的特点在无人机飞控系统故障检测中具有巨大的潜力和价值。

[0008] 总体来说,根据国内外文献分析可知,当前的模型法和知识经验法具有以下缺点:(1)难以对未知的故障进行检测;(2)比较适用于低维度的系统。针对无人机飞控这个复杂系统,基于模型的方法不可能获得复杂机理模型的每个细节;另一方面基于知识经验的方法需要长期的经验知识积累,存在不能适应无人机复杂多变异常检测需求的缺陷。因此,当前基于模型法和定性知识经验法的故障检测研究普遍存在着计算量大、故障模型假设不合理、灵活应变性差等问题。基于数据驱动的故障检测应用前景广泛,但仍有关键技术问题有待解决,其中,针对数据特征的有效提取(故障或者正常)以及用来作为故障检测参考数据库的有效构建是基于数据驱动故障检测中的核心问题。

发明内容

[0009] 本发明的发明目的是针对上述背景技术的不足,提供了一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法,通过实时在线提取正常数据特征实现了无人机飞控系统故障检测数据库的动态构建,解决了无人机飞控系统的故障检测因难以实现对每种故障特征的提取而不能适应异常检测需求的技术问题。

[0010] 本发明为实现上述发明目的采用如下技术方案:

[0011] 一种用于无人机飞行控制系统故障检测的数据库构建方法,采集无人机飞控系统在当前时刻下的实时观测数据,采用人工智能算法对当前时刻下的离线历时数据进行训练得到当前时刻下的故障判断法则并筛选出当前时刻下正常历史数据构成的参考数据库,采用当前时刻下的故障判断法则判断当前时刻下的实时观测数据故障与否,在当前时刻下的实时观测数据正常时更新当前时刻下正常历史数据构成的参考数据库,更新离线历史数据,周而复始地,根据更新后的离线历史数据实时地训练出故障判断法则并实时地筛选出正常历史数据构成的参考数据库,根据实时训练出的故障判断法则处理当前时刻下实时观测数据的结果在线更新正常历史数据构成的参考数据库。

[0012] 作为数据库构建方法的进一步优化方案,无人机飞控系统在当前时刻下的实时观测数据包含:三轴陀螺仪、GPS、加速度计、气压计的测量数据。

[0013] 作为数据库构建方法的进一步优化方案,在当前时刻下的实时观测数据正常时更新当前时刻下正常历史数据构成的参考数据库,具体方法为:以具有窗口长度的时间序列表示当前时刻下正常历史数据构成的参考数据库,采用具有所述窗口长度的滑动窗口模型剔除具有窗口长度的时间序列中的末尾数据,添加当前时刻下的实时观测数据在具有窗口长度的时间序列的末尾。

[0014] 作为数据库构建方法的进一步优化方案,在采用当前时刻下的故障判断法则判断

当前时刻下的实时观测数据故障与否之前,先采用卡尔曼滤波算法去除当前时刻下实时观测数据中的噪声。

[0015] 作为数据库构建方法的进一步优化方案,采用包含但不限于人工神经网络、决策树的人工智能算法对当前时刻下的离线历时数据进行训练得到当前时刻下的故障判断法则并筛选出当前时刻下正常历史数据构成的参考数据库。

[0016] 本发明采用上述技术方案,具有以下有益效果:本发明针对无人机飞控系统故障检测提出了用于数据驱动的数据库构建方法,实时训练每一时刻的历史数据库以获取每一时刻下的故障判断法则并筛选出每一时刻下正常历史数据构成的参考数据库,采用每一时刻下的故障判断法则处理对应时刻下的实时观测数据,将无人机实时飞控数据中的正常数据融入参考数据库进而更新历史数据库,通过动态更新正常历史构成的参考数据库和故障判断法则,保证了正常历史数据构成的参考数据库的实时特征性,利用该动态更新的正常历史数据构成的参考数据库能够对无人机飞控数据中的孤立点异常、上下文异常、累计异常等多种异常形式进行有效地检测,从而有效提高了故障检测的查全率和正确率,同时降低了误警率。

附图说明

[0017] 图1为无人机飞控系统故障检测数据库动态构建的流程图。

具体实施方式

[0018] 下面结合图1对发明的技术方案进行详细说明。为解决无人机飞控系统的故障检测因难以实现对每种故障特征的提取而不能适应异常检测需求的技术问题,本发明针对无人机飞控系统故障检测提出了用于数据驱动的数据库构建方法,实时训练每一时刻的历史数据库以获取每一时刻下的故障判断法则并筛选出每一时刻下正常历史数据构成的参考数据库,采用每一时刻下的故障判断法则处理对应时刻下的实时观测数据,将无人机实时飞控数据中的正常数据融入参考数据库进而更新历史数据库,通过动态更新正常历史构成的参考数据库和故障判断法则,保证了正常历史数据构成的参考数据库的实时特征性。

[0019] 当前时刻t+1下参考数据库和故障判断法则的更新:

[0020] (1)采集无人机飞控系统在当前时刻t+1下输出的数据,包括:三轴陀螺仪、GPS、加速度计、气压计等测量数据,标记为矩阵 x_{t+1} , x_{t+1} 包含为正常数据、已知故障数据和未知故障数据的混合数据,采用卡尔曼滤波算法对当前时刻下实时观测数据 x_{t+1} 进行预处理以去除噪声,避免噪声数据干扰异常检测而导致的误警,标记预处理后的当前时刻下实时观测数据为 \hat{x}_{t+1} ;

[0021] (2)采用包含但不限于人工神经网络、决策树的人工智能算法对当前时刻t+1下的离线历时数据训练当前时刻下的离线数据,得到当前时刻t+1下的故障判断法则并筛选出当前时刻t+1下正常历史数据构成的参考数据库,标记当前时刻t+1下正常历史数据构成的参考数据库为具有窗口长度的时间序列: $\{x_{t-q+1}, \dots, x_{t+q}\}$, 其中, t表示时刻, q表示窗口的长度,由于t0时刻,也就是第一个时刻没有在线的数据的输入,所以此时正常数据构成的参考数据库就是实时在线正常数据组成的参考数据库;

[0022] (3)采用当前时刻t+1下的故障判断法则判断预处理后的当前时刻下实时观测数

据 \hat{x}_{t+1} 故障与否,在判断 \hat{x}_{t+1} 正常时,采用窗口长度为q的滑动窗口模型剔除窗口长度的时间序列 $\{x'_{t-q+1}, \dots, x'_{t+1}\}$ 中的末尾数据 x'_{t+1} ,将 \hat{x}_{t+1} 添加在窗口长度时间序列的末尾得到: $\{\hat{x}'_{t-q+1}, \dots, \hat{x}_{t+1}\}$,即,更新当前时刻t+1下正常历史数据构成的参考数据库为 $\{\hat{x}'_{t-q+1}, \dots, \hat{x}_{t+1}\}$,进而更新当前时刻下的离线数据用于下一时刻的训练。

[0023] 下一时刻及其后每一时刻下参考数据库和故障判断法则的更新:

[0024] 根据更新后的离线历史数据实时地训练出故障判断法则并实时地筛选出正常历史数据构成的参考数据库,根据实时训练出的故障判断法则处理当前时刻下实时观测数据的结果在线更新正常历史数据构成的参考数据库。

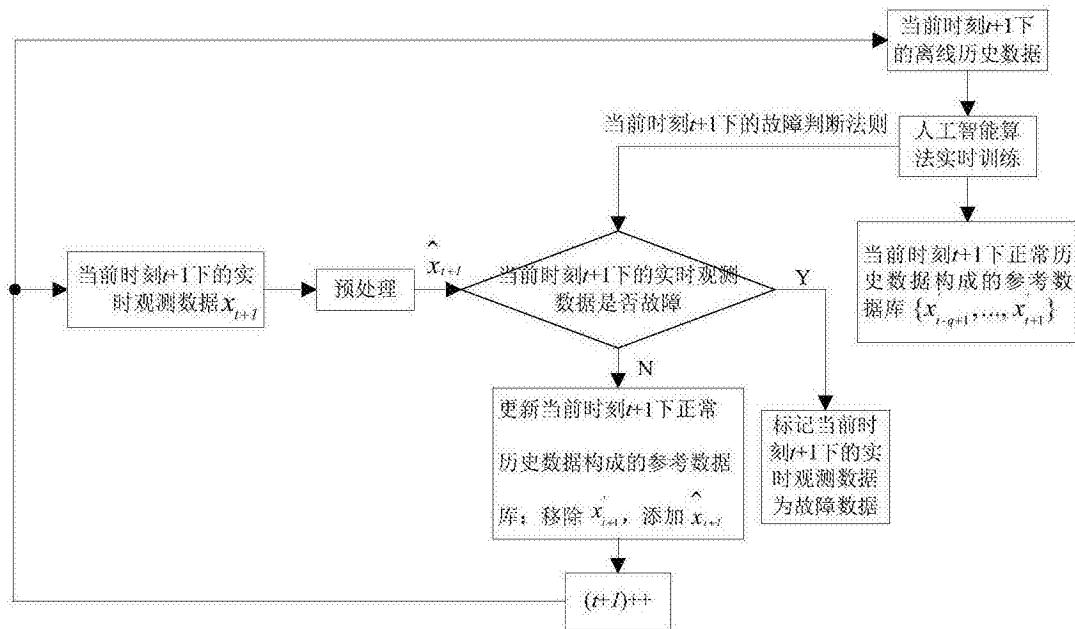


图1