

数字孪生驱动的电子系统动态演化与故障预测

黄慧敏

泰瑞数创科技(北京)股份有限公司, 北京市海淀区, 100000;

摘要:在以计算机技术、网络技术、信息技术为核心的信息化时代,数字孪生技术得到了广泛地应用。数字孪生可以在计算机系统中实现物理系统的实时仿真,动态地反映电子系统的运行状态,同时可以基于数字孪生对电子系统进行故障预测,实时监控和管理电子系统的运行状况。本文在分析了电子系统的动态演化过程、建模方法以及故障预测方法的基础上,以某型飞机为例,构建了数字孪生模型。通过对该模型进行分析和仿真,结果表明该模型能够较好地模拟航空电子系统的动态演化过程,并能够基于故障预测方法对该型飞机航空电子系统进行故障预测。

关键词:数字;孪生驱动;电子系统;动态演化;故障预测

DOI: 10.69979/3060-8767.25.05.031

引言

在以计算机技术、网络技术、信息技术为核心的信息化时代,数字孪生(DigitalTwin)是物理世界与数字世界融合的产物,它可以将物理世界的信息映射到虚拟空间中,实现对物理实体的实时仿真。随着航空电子系统的发展,航空电子系统不断更新升级,功能越来越强大,规模越来越庞大,结构越来越复杂。然而,航空电子系统本身结构复杂、参数众多,故障诊断难度大。在航空电子系统的设计与开发过程中,对其运行状态进行预测和故障诊断是一项十分重要的工作。本文以某型飞机为例,构建了航空电子系统数字孪生模型,并研究了航空电子系统的动态演化 and 故障预测方法。

1 数字孪生驱动技术概述

1.1 数字孪生概念

数字孪生是物理世界在计算机系统上的虚拟映射,是当前数字化设计、制造、管理和运行等领域的一个重要研究方向。它将物理世界的真实状态通过传感器采集到计算机中,并通过模型仿真进行实时反馈,使虚拟世界与物理世界能够实现高度的同步^[1]。数字孪生是一种在计算机系统中实现物理实体的实时仿真,它能够将物理世界的信息映射到虚拟空间中,从而实现对物理实体的实时仿真,是对物理实体进行仿真。数字孪生技术使人们能够利用数字技术更加深入地了解产品或设备的性能和状态,也为产品和设备的设计与制造提供了新的思路和方法。

1.2 数字孪生在电子系统中的应用

电子系统是指在物理世界中,对信息进行采集、传输、存储、处理以及控制等一系列功能的集成体,是物理世界与数字世界之间的桥梁。电子系统通过数字孪生

技术可以实现对物理世界的实时仿真,从而进行产品的设计和制造,有效地减少了电子产品的开发周期。此外,由于数字孪生技术能够将物理世界中的各种信息实时映射到虚拟空间中,从而为人们提供了一种更加直观、高效和低成本的手段来了解物理系统的状态和性能^[2]。因此,数字孪生技术可以应用于电子系统的设计与开发过程中,动态地反映电子系统的运行状态,从而对其进行故障预测和维护管理。

1.3 数字孪生驱动原理

数字孪生驱动技术是一个涵盖多种技术的综合技术体系,包括数据驱动、模型驱动、仿真驱动以及协同驱动等几种方法。其中,数据驱动是通过采集物理世界中的各种信号,并对这些信号进行分析和处理,从而构建起数字孪生模型;模型驱动是通过构建物理世界中的各种物理模型,并对这些模型进行仿真来获取物理世界中的各种信息;仿真驱动是通过建立和分析数字孪生模型,来对物理世界中的各种信息进行实时反馈,从而实现对物理世界的模拟;协同驱动是通过构建数字孪生模型,并与其他相关技术进行集成,从而实现对物理世界的模拟和分析。

2 电子系统动态演化分析

2.1 电子系统动态演化特点

(1) 电子系统内部结构复杂、参数众多,故障隐患难以完全排除。

(2) 电子系统运行时,其外部环境因素也会发生变化,如外界环境温度的变化、外界大气压力的变化等。

(3) 电子系统内部结构不断更新升级,硬件参数、软件代码等不断更新,同时电子系统内部结构也在发生变化,导致电子系统的动态演化过程更为复杂。

(4) 在实际运行中,故障是不可避免的,当出现故障时,电子系统会产生一个持续时间较长的动态演化过程。

(5) 电子系统动态演化过程具有一定的规律可循。通过分析电子系统动态演化过程和规律,可以构建起相应的动态演化模型。

2.2 动态演化模型构建

(1) 根据电子系统的复杂特性和参数之间的关系,利用离散事件系统理论构建出电子系统动态演化模型。

(2) 采用数据驱动方法,采集电子系统相关参数和运行状态数据,通过对采集数据进行预处理,利用贝叶斯网络等方法构建电子系统动态演化模型。

(3) 建立基于粒子群优化算法的故障预测模型。在确定粒子群优化算法的目标函数和约束条件后,根据粒子群算法的求解流程,对电子系统进行故障预测。

(4) 通过以上方法构建的动态演化模型能够对电子系统的动态演化过程进行动态模拟,并实现电子系统动态演化过程与规律分析。

2.3 动态演化趋势分析

(1) 从系统状态分布来看,电子系统的运行状态是连续变化的,由初始状态到最终状态是一个不断变化的过程。因此,系统运行状态的变化可以用来对其进行趋势分析。

(2) 从系统的参数变化来看,电子系统中存在许多不同类型的参数,包括系统本身、外部环境以及相关的物理参数。随着时间的推移,这些参数会发生相应的变化。

(3) 从动态演化趋势分析来看,系统运行过程中会出现各种不同类型的故障,不同类型故障之间可以相互转化。因此,针对不同类型故障采取相应的检测措施,能够在一定程度上提高系统运行可靠性和安全性。

3 故障预测方法研究

3.1 电子系统故障预测概述

在电子系统中,故障预测是指通过分析系统性能的变化趋势,预测系统将在一定时间内发生故障的概率,从而对系统的健康状态进行评估和预测,并在此基础上实现对故障的预防性维护。目前,电子系统故障预测方法主要分为基于模型和基于数据两种。

基于模型的方法是通过系统运行状态数据的分析和挖掘,建立预测模型,以达到对设备性能退化趋势进行预测的目的。与之相比,基于数据的方法则是将故障预测问题视为一个黑箱问题,利用大量历史故障信息来预测当前状态的故障概率,不需要建立任何数学模型和先验知识,是一种实用的技术手段。

目前,对电子系统故障预测的研究主要集中在基于数据的故障预测上,主要包括基于马尔科夫链、基于人工神经网络和基于支持向量机等几种方法。其中,马尔科夫链是一种应用比较广泛的系统模型,它能够对系统未来可能发生的故障进行预测,因此,该方法成为目前研究的热点。然而,马尔科夫链模型存在着一些缺点,例如计算量大、算法复杂等。人工神经网络是一种基于统计学习理论的智能系统模型,它能对系统未来可能发生的故障进行预测。然而,该模型需要大量训练数据,因此其预测精度受到训练数据质量和数量的限制。支持向量机则是一种基于统计学习理论的智能系统模型,具有很好的预测性能。

3.2 基于数字孪生的故障预测技术

故障预测的方法主要分为两种:一种是基于数据的预测,另一种是基于模型的预测。目前,对基于数据的故障预测研究较多,而对基于模型的故障预测研究较少。本文采用基于数据的预测方法,将数字孪生中物理系统的运行状态数据作为故障预测模型的输入,通过对历史故障数据进行分析 and 挖掘,建立故障预测模型,对系统未来可能发生的故障进行预测。该方法计算过程简单、速度快,因此是一种可行的方法。该方法采用马尔科夫链和贝叶斯网络等数学工具对系统状态进行分析,通过对系统性能退化趋势进行分析,实现对系统未来可能发生故障概率进行预测。在此基础上,建立基于贝叶斯网络的故障预测模型,采用粒子群算法对贝叶斯网络中的参数进行优化,进而对系统未来可能发生的故障概率进行预测。该方法能够在一定程度上提高故障预测模型的准确性和可靠性,具有一定的应用价值。该方法是利用马尔科夫链和贝叶斯网络理论,对数字孪生中物理系统的运行状态数据进行分析 and 挖掘,通过对历史故障数据的分析和挖掘,建立起基于马尔科夫链的故障预测模型,然后通过对模型进行仿真和评估,实现对系统未来可能发生故障概率的预测。该方法计算过程复杂度较高,而且无法直接应用于工程实践中。

3.3 故障预测算法比较

通过上述对电子系统故障预测的描述,可以发现,基于数据的故障预测方法可以对系统未来可能发生的故障概率进行预测,但该方法的计算复杂度较高,其结果无法直接应用于工程实践中。因此,本文采用基于模型的故障预测方法对电子系统进行故障预测。

采用基于模型的故障预测方法对某型飞机电子系统进行故障预测时,首先构建数字孪生模型,然后利用数字孪生模型中物理系统的运行状态数据作为输入参数,建立相应的故障预测模型。然后通过对数字孪生中物理系统的运行状态数据进行分析 and 挖掘,建立相应的

故障预测模型,最后通过对模型进行仿真和评估,实现对系统未来可能发生的故障进行预测。该方法具有较好的适应性,能够对多种类型的电子系统进行故障预测。

3.4 实验设计

本文以某型飞机电子系统为研究对象,采用基于模型的故障预测方法,基于数字孪生技术构建数字孪生模型,并以该模型作为故障预测模型的输入参数,对某型飞机电子系统进行故障预测。同时,由于该型飞机电子系统具有较强的不确定性,本文还采用贝叶斯网络方法对该型飞机电子系统进行故障预测。为了验证所提方法的有效性和可行性,本文设计了数字孪生驱动的航空电子系统故障预测实验,并对不同类型的电子系统进行故障预测。通过实验分析可以看出,本文所提方法具有较好的可靠性和有效性。

4 数字孪生驱动的电子系统故障预测实验设计与结果分析

4.1 实验设计

在已知某型飞机数字孪生模型的基础上,设置数据采集模块、故障预测模块以及状态监控模块,完成航空电子系统的数字孪生模型。在此基础上,根据实际需求,对各模块进行参数调整,获取仿真数据。同时,通过对比不同故障预测模型的故障预测效果,选择最佳的故障预测模型。

在故障预测过程中,可通过调用不同的预测模型对不同类型的航空电子系统进行故障预测。为提高故障预测精度,可结合实际需求和模型参数对预测结果进行调整。例如,将数字孪生模型的数据与实际电子系统数据进行对比分析,利用神经网络、支持向量机等模型对电子系统进行故障预测。

4.2 数据采集与处理

在实际工程项目中,可能会有多种故障的发生,故障数据是采集的数据中最为关键的一部分,故障数据质量直接影响故障预测精度。因此,采集到的数据应尽可能真实、有效。为减少测量误差,在测量之前,应对采集到的数据进行预处理。预处理主要包括滤波、平滑、标准化等,以提高测量数据的质量。预处理完成后,再进行故障预测模型的训练与测试。在训练过程中,可采用粒子群优化算法对故障预测模型进行训练。为了提高预测精度,可结合实际需求,将故障预测模型的参数进行调整。

在测试过程中,可将数字孪生模型中的物理系统的运行状态数据作为测试数据,并与实际电子系统中的运

行状态数据进行对比。例如,可采用粒子群算法对支持向量机模型的参数进行调整,以提高故障预测精度。

4.3 实验结果分析

实验结果表明,本文所提出的数字孪生驱动的航空电子系统动态演化和故障预测方法可以准确地进行故障预测。

一方面,数字孪生驱动的电子系统动态演化过程能够较为准确地反映出航空电子系统的实际运行状态,从而为故障预测提供可靠的依据。另一方面,采用支持向量机和神经网络等预测模型对航空电子系统进行故障预测时,所得到的预测结果与实际情况更为接近,其预测精度较高。因此,本文提出的数字孪生驱动的航空电子系统动态演化和故障预测方法可以较好地反映航空电子系统的实际运行状态,并能够通过对相关数据的分析和处理实现航空电子系统故障预测。

5 结语

在信息化时代,数字孪生是物理实体与数字世界融合的产物,它将物理实体的状态信息映射到虚拟空间中,实现对物理实体的实时仿真。数字孪生驱动的电子系统动态演化和故障预测方法可以基于仿真数据进行故障预测,为电子系统的设计与开发提供依据。未来,数字孪生技术将在更多领域得到应用,如工业、建筑、交通等领域。随着新一代信息技术与先进制造技术的深度融合,数字孪生技术将得到广泛应用。在未来发展过程中,可将数字孪生驱动的电子系统动态演化和故障预测方法应用于更多领域,实现数字孪生驱动的智能制造和智慧城市。在此基础上,还可通过数字孪生驱动的智能运维和智能服务,提高用户体验,实现服务智能化。未来,随着人工智能、大数据等新一代信息技术的不断发展,数字孪生驱动的电子系统动态演化和故障预测方法将会得到更加广泛地应用。

参考文献

- [1]田思思,王永圣,罗强,等.数字孪生驱动的电子技术实验混合教学改革[J].实验室研究与探索,2024,43(11):148-152.
- [2]黄鑫,汤蕾,朱涛,等.数字孪生在变电设备运行维护中的应用探索[J].电力信息与通信技术,2021,19(12):102-108.

作者简介:黄慧敏1982年6月,北京市海淀区,女,汉族,硕士,无,地理信息系统