

基于数字孪生的雷达天线操管调控系统设计

陈 江

91550 部队 辽宁大连 116023

摘 要: 基于数字孪生的雷达天线操管调控系统设计是当前雷达技术领域的研究热点之一,其能够通过数字化手段实现对雷达天线的精准操管和智能调控,具有广阔的应用前景。本文从某型测控雷达天线操管调控数字孪生系统设计实现全流程,全面阐述系统架构设计、数字孪生模型构建、传感器数据集成、数据分析与实时监控、系统反馈与调控的实施等关键环节技术特点,深入讨论数字孪生技术在雷达操管调控领域中优化系统性能,提高效率的可行性,为实现数字化雷达管控提供了一种全新的解决方案。

关键词: 数字孪生; 雷达天线; 操管调控

引言: 随着雷达技术的不断发展,对雷达天线的操管和调控要求越来越高,传统的雷达天线调控方法在效率和精度上存在一定的局限性。数字孪生技术可充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据,集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,在虚拟空间中完成映射,从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。

1. 雷达天线操管调控系统概述

雷达天线操管调控系统是雷达系统的重要组成部分,其主要功能是对雷达天线的各项参数进行测量和调控,以确保雷达系统的工作性能。具体而言,雷达天线操管调控系统涉及到天线测量、数据处理、系统调控等多个环节,涵盖了天线阵面参数测量、信号处理、系统校准等内容。

雷达天线操管调控系统在雷达系统中的应用广泛,例如,在军事领域,雷达天线操管调控系统用于雷达天线的校准,来保证雷达系统的探测精度;在航空领域,雷达天线操管调控系统用于飞机雷达天线的测量和调控,使其飞行安全;在气象领域,雷达天线操管调控系统用于气象雷达天线的测量,来提升气象预报的准确性^[1]。

2. 雷达天线操管调控系统的现状

目前,雷达天线操管调控系统的发展已经取得了一定的成就,但在实际应用中仍然存在一些问题。传统的雷达天线操管调控系统主要依赖于人工操作和经验积累,系统的自动化程度较低,测量精度和实时性较差。而且,随着雷达系统复杂度的增加,传统的操管调控方法难以满足现代雷达系统的需求。在实际应用中,雷达天线操管调控系统面临以下

几个主要问题: 一是测量精度不足。由于传统监管设备的分辨率和精度有限,难以捕捉到天线工作时的微小变化,这直接影响到雷达系统的整体性能和探测能力。二是实时性差。传统系统依赖于人工操作和后期处理,无法实现对天线状态的实时监控和调控,导致在快速变化的环境中,系统响应速度和调整能力不足。三是自动化程度低。现有的系统大多依靠人工操作和经验进行调控,缺乏智能化手段,难以实现高效、精确的监管与调控。四是数据处理能力不足。随着雷达天线系统复杂度的增加,数据量也急剧上升,传统系统在数据处理和分析能力方面显得捉襟见肘,无法及时准确地处理数据,影响了系统的整体效能。

3. 基于数字孪生的雷达天线操管调控系统设计

为了提升雷达天线操管调控系统的性能,数字孪生技术被引入到系统设计中。数字孪生技术通过构建物理实体的虚拟模型,实现对物理实体的实时监控、分析和调控,为雷达天线操管调控系统的设计和优化提供了新的思路和方法。

3.1. 系统架构设计

在设计基于数字孪生的雷达天线操管调控系统时,优化系统架构相当重要,这一架构必须兼顾高度的数据整合能力和快速的实时响应,保证整个系统能够无缝运行高效控制。核心设计围绕几个关键组成部分展开: 一是实体的雷达天线设备,它装备有精密的传感器,用于采集各种操作数据,例如,位置、角度和环境条件等,是系统操作的基础。二是数据采集模块必须具备高效的数据传输和处理能力,能够承担起快速收集并转发大量雷达数据的任务,这些数据随即被送

入下一阶段。三是数字孪生模型作为系统的核心，不仅复制了雷达天线的物理特性，还能根据实时数据进行更新，进而精确地映射和预测天线的实际运行状态。这一模型的实时更新是通过与数据处理与分析单元的紧密结合来实现的。该单元使用高级算法分析收集的数据，识别潜在的性能问题或故障，并生成可行的解决策略或调整建议。四是调控反馈机制根据分析结果对物理设备进行精确的调节。此设计关键在于其反应速度和调控精度，能够让天线系统在各种运行条件下都保持最佳性能^[2]。

3.2. 数字孪生模型构建

构建数字孪生模型是实现精确测量和有效调控雷达天线的关键步骤。在此过程中，模型的准确性直接影响到系统整体的性能。因此，开发该模型时必须采用高级建模技术来确保其能全面映射和模拟物理雷达天线的特性。首先，构建数字孪生模型始于详尽地收集和分析雷达天线的各种工作参数，例如，天线的设计规格、操作环境以及历史性能数据，然后通过数据处理和预处理步骤，这些数据被整理成可以用于建模的形式。然后，模型的开发过程中要创建一个动态更新高度精确的数字副本，此副本能模拟天线在正常工作条件下的行为，还能预测在极端条件下的表现。因此，在构建过程中，数字孪生模型必须具备高效的数据更新机制，以实时反映物理设备的状态。为了达到这一点，系统应在关键节点尽可能部署高敏传感器，实时监测天线的各项性能指标，并将数据实时传输到模型中。通过高速的数据传输处理技术，能够迅速用于模型的更新使模型保持最新状态^[3]。

另外，为了提升模型的预测能力精度，系统设计时还需进行大量的仿真和测试工作。通过模拟各种可能的运行情况，验证模型的反应是否符合预期，并在必要时进行调整。这样，数字孪生模型能提供当前状态的准确反映，提供更为可靠的性能预测。

集成传感器数据是保证雷达天线操管调控系统有效运行的另一重要方面，在过程中，多种传感器的数据必须被精确地融合，为后续的分析决策。系统中的每个传感器都设计有特定的功能，比如温度感应、位置检测或者振动分析，它们共同工作，实时监控雷达天线的物理状态。这些数据通过高速的网络传输到中心数据库，进而被传送到数字孪生模型中。在数据融合的过程中，要特别注意数据的同步问题，以防不同传感器之间的时间差影响数据的整合效果。另外为了

提高数据处理的效率，还要采用先进的数据预处理技术，如信号滤波和异常值处理，确保输入到模型中的数据是准确可靠的。通过这样高效的数据集成处理，系统能够更好地理解和反应雷达天线的实时状态，从而优化调控策略。

3.3. 数据分析与实时监控

在数据分析与实时监控环节，系统通过高级的分析工具来处理集成后的数据，不断优化雷达天线的性能。实时监控系统利用从传感器和数字孪生模型中得到的数据，对天线的工作状态进行全面分析。从简单的数据可视化到复杂的预测性维护分析，如异常检测和趋势预测等。通过这些分析，监控系统能够即时发现潜在的问题并快速响应，从而避免故障发生或减少停机时间。例如，如果系统检测到一项性能指标突然偏离正常范围，它可以自动触发报警并通知维护团队。而且这些数据分析结果还可以用来细化优化数字孪生模型，使其更加精确地反映天线的实际工作状态，进一步提高系统的调控精度。

3.4. 系统反馈与调控

在基于数字孪生的雷达天线操管调控系统设计中，系统反馈与调控环节是确保雷达天线持续稳定运行的关键。此阶段主要依据之前的数据分析结果来执行必要的调整措施，来适应不断变化的环境条件。自动化的调整功能允许系统精准地校准天线的角度和调节功率，保证天线在各种操作环境下都能保持最佳性能。而且，系统的智能化限于简单的参数调整。它还能实施更复杂的控制策略，如根据维护模型的预测结果，自动安排维修或更换潜在故障的部件。这种预测性维护大大减少了系统的停机时间，提高了运行效率并显著降低了维护成本。通过实时反馈机制，系统能够不断地收集和分析运行数据，及时发现任何偏离正常运行状态的迹象，从而迅速作出反应。系统还配备了先进的自学习功能，使得反馈与调控系统能够利用历史操作数据结果不断地自我优化和调整其策略^[4]。

4. 应用实例

本次系统设计旨在研发一种基于数据孪生的雷达操管调控系统，构建逼真模拟物理实体工作的虚拟雷达操管调控模型，探索数字化测控体系建设下的雷达调控数字化建设技术。该系统结合雷达数字调控特点，建构模拟物理实体的设计方法和模块，充分映射雷达物理体的实际工作；并采用目前研究热点的数字孪生技术，开发实际系统和完全模拟其工

作的虚拟模型,形成高速信息交流和使用的数据层,以缩短系统研发周期,降低开发难度和技术风险。

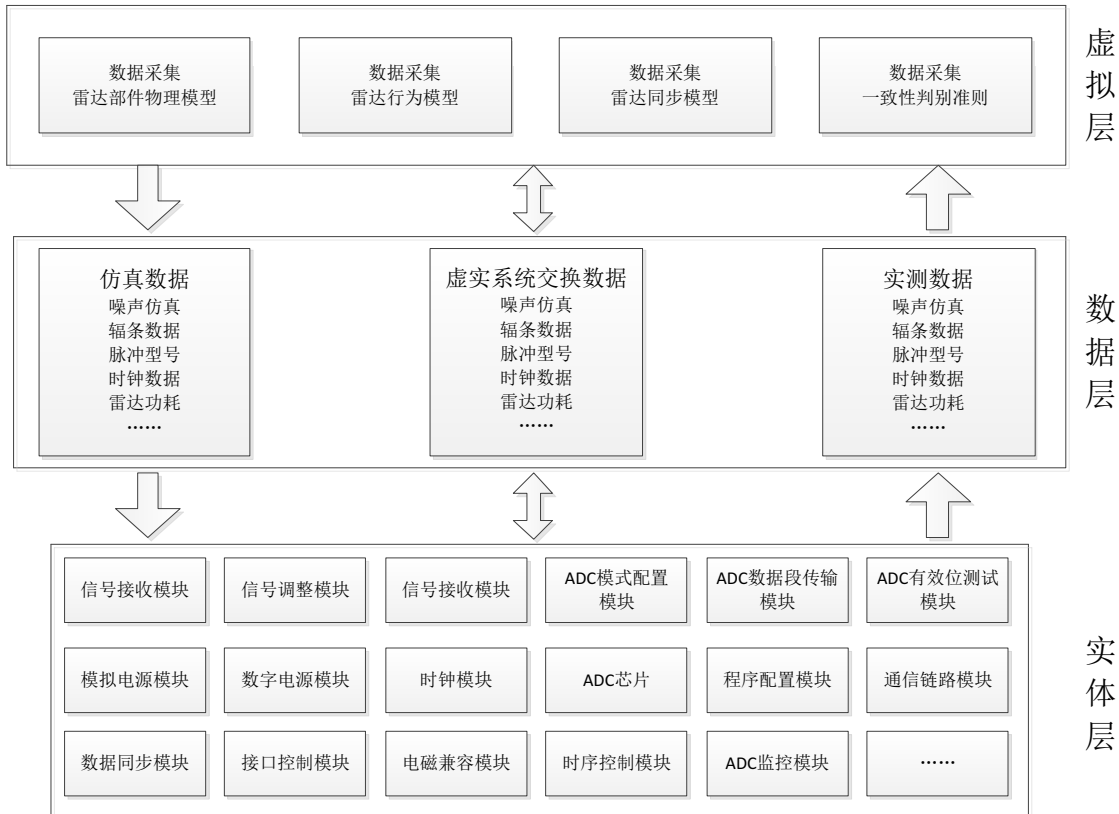


图 1 雷达操管调控数字孪生系统结构图

5. 技术发展趋势分析

随着数字孪生技术在雷达天线操管调控系统中的应用日益广泛,技术发展趋势呈现出以下几个显著特点:

5.1. 系统集成化与智能化

未来,雷达天线操管调控系统将更趋于集成化,集成体现在系统各个模块之间的数据和功能高度融合,形成一个统一的整体。例如,传感器数据采集、数字孪生模型构建、数据分析与实时监控等环节将更加紧密地协作,通过高效的数据交换,提升系统的整体性能。智能化则体现在系统能够通过自学习,不断优化自身的运行模式,达到更高的自动化水平。

5.2. 大数据与人工智能的深度融合

随着雷达天线系统的复杂度增加,大数据和人工智能技术将在操管调控系统中发挥越来越重要的作用。未来,系统将能处理更大规模的数据集,并通过高级数据分析和机器学习算法,提取有价值的信息。例如,通过分析大量的历史运行数据,系统可以预测雷达天线的性能趋势,提前发现潜在

问题,并提出优化建议。这种深度融合将显著提升系统的预测能力和故障检测能力,使其在复杂环境中更加稳定可靠。

5.3. 虚拟仿真与现实反馈的无缝对接

未来的雷达天线操管调控系统将实现虚拟仿真与现实反馈的无缝对接。数字孪生模型不仅能够精确模拟雷达天线的工作状态,还能与实际操作环境实时联动。例如,通过虚拟仿真,系统可以提前测试和验证各种调控策略的效果,减少实际操作中的试错成本。

结语:基于数字孪生的雷达天线操管调控系统设计是当前雷达技术领域的研究热点之一,其能够通过数字化手段实现对雷达天线的精准管控和智能调控,具有广阔的应用前景。然而,基于数字孪生的系统设计也面临着诸多挑战,包括数字孪生模型的精细化建模、传感器数据的准确获取、系统的智能化水平等方面。未来,随着雷达技术的不断发展和数字孪生技术的不断成熟,基于数字孪生的雷达天线操管调控系统将迎来更广阔的发展空间,为雷达技术的进一步创新和应用提供有力支撑。

参考文献:

[1] 向熠, 徐文华, 陈亚峰. 大型精密测量相控阵雷达天线座力学仿真应用研究 [J]. 现代雷达, 2024, 46 (01): 87-92.

[2] 程五四, 陈帝江, 张祥祥, 李赞澄. 基于数字孪生的雷达天线测量调控系统设计 [J]. 无线互联科技, 2023, 20 (07): 78-80.

[3] 张晓冬, 唐文明, 蒋耿明. 基于功率测量的 MIMO 雷达天线异常检测方法 [J]. 计算机仿真, 2022, 39 (05): 17-21+185.

[4] 舒正杰. 基于摄影测量系统在曲面雷达天线阵面调试中的应用 [J]. 科技创新与应用, 2019, (35): 21-23.

作者简介:

陈江 (1977.01); 性别 男; 民族 汉; 籍贯 山西省太原市人; 学士本科; 职称 工程师; 主要研究方向 卫星导航测控 虚拟仿真; 单位 91550 部队; 通信地址 辽宁省大连沙河口区南沙河口街道五一路 200 号; 邮编 116023, ; 电话 18525638894