

团 体 标 准

T/CSNAME 060—2023

船用设备智能集成与远程运维系统 第 4 部分：虚拟运维

Intelligent integration and remote operation and maintenance of marine equipment
Part 4: Virtual operations

2023 - 05 - 24 发布

2023 - 08 - 24 实施

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是《船用设备智能集成与远程运维系统》的第4部分。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国造船工程学会提出并归口。

本文件起草单位：武汉理工大学、郑州大学、震兑工业智能科技有限公司、上海船舶运输科学研究所、上海外高桥造船有限公司。

本文件主要起草人：白秀琴、张瑞、周帅康、魏幕恒、刘杰、杨琨、韩冰、曹征宇、王亚辉、卢明剑、喻敏、涂仕豪、梅良骊。



引 言

船用设备智能集成与远程运维标准群由13项标准组成，涵盖了船用设备智能集成模块设计、搭建、应用、维护等全过程，对该类问题有较好的指导作用。根据各项标准特点，本群标准所涉及的内容可分为以下四类：

——基础共性标准，包含《船用设备智能集成与远程运维通则》《船用设备标识编码要求》《船用设备智能集成可靠性设计要求》3项标准，可为后续内容提供整体性的指导。

——系统集成标准，包含《船用设备智能集成原则与要求》《船用设备信息集成平台通用技术要求》《船用设备远程运维系统接入要求》3项标准，对船用设备智能集成系统的搭建提出了要求。

——维护保养标准，包含《船用设备远程运维系统技术要求》《船用设备智能集成与远程运维系统 第1部分：状态监测》《船用设备智能集成与远程运维系统 第2部分：健康管理》《船用设备智能集成与远程运维系统 第3部分：视情维护》《船用设备智能集成与远程运维系统 第4部分：虚拟运维》5项标准，为船用设备智能集成系统的运行维护提供指导。

——数据管理与应用标准，包含《船用设备远程运维数据管理要求》《船用设备智能集成与远程运维系统 第5部分：知识库建设要求》2项标准，规范了系统所测数据的采集与处理方式。



船用设备智能集成与远程运维系统

第4部分：虚拟运维

1 范围

本文件规定了船用设备虚拟运维体系架构、各组件的实现，以及虚拟运维系统功能要求。本文件适用于船用设备智能集成与远程运维系统中虚拟运维子系统的设计开发。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

虚拟运维 virtual operation and maintenance

实体装备在虚拟空间中的映射，是设备运行、诊断、维护、维修等过程的数字化体现。

3.2

虚拟空间 virtual space

与物理实体空间相对应的概念，应用数字化技术和物联网技术等先进技术，建立起来的与实体空间在空间几何关系、要素相互作用等方面相一致的数字化镜像空间。

3.3

数字孪生 digital twins

现有的物理实体对象的数字模型，通过实测、仿真和数据分析来实时感知、诊断、预测物理实体对象的状态，通过优化和指令来调控物理实体对象的行为，通过相关数字模型间的相互学习来进化自身，同时改进利益相关方在物理实体对象生命周期内的决策。

3.4

虚拟运维服务 virtual operation and maintenance services

虚拟运维服务是对虚拟运维集成控制应用过程中面向船用设备运维业务所需的各类数据、模型、算法、仿真、结果等进行服务化封装，并以应用软件或移动端App的形式提供给各级用户，实现对服务的便捷及按需使用。

3.5

实体运维过程 entity operation and maintenance process

船用设备在物理空间中实际运行与维护的过程。

3.6

虚拟运维孪生体 virtual operation and maintenance twin

实体运维过程在虚拟空间中的映射模型。

4 虚拟运维体系架构

4.1 基于数字孪生的船用设备虚拟运维系统架构如图1所示。

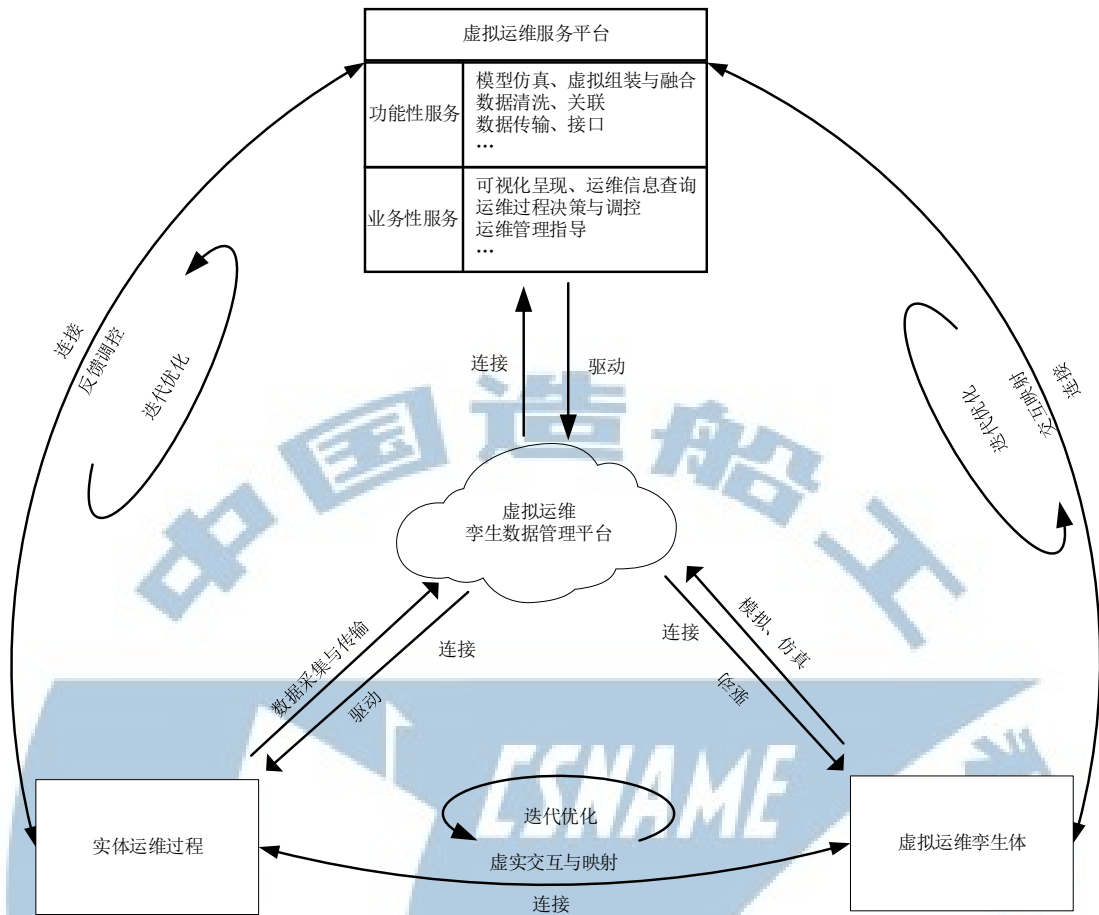


图1 基于数字孪生的船用设备虚拟运维架构

4.2 虚拟运维应包含实体运维过程、虚拟运维孪生体、虚拟运维服务、孪生数据管理平台、连接。

注：虚拟运维孪生体可通过Unity、Unreal Engine、WebGL等软件构建。

4.3 虚拟运维系统应建立实体运维过程与虚拟运维孪生体的映射与交互，确保数字运维孪生体与实体运维过程在操作、行为、演变等方面的一致性。

4.4 虚拟运维服务平台应具备数据清洗、数据挖掘、机理仿真、优化分析等过程实现对设备运维状态的评估与预测。

5 实体运维过程

实体运维过程应符合以下要求：

- 应支持智能感知、跟踪、记录与评价，并能将运维数据实时映射至虚拟运维孪生体模型；
- 应能对虚拟运维服务平台进行决策响应，支持虚拟运维服务平台通过人工或自动操作实现对实体运维过程的调控；
- 实体运维过程的设计与实现应具有层次性。

6 虚拟运维孪生体

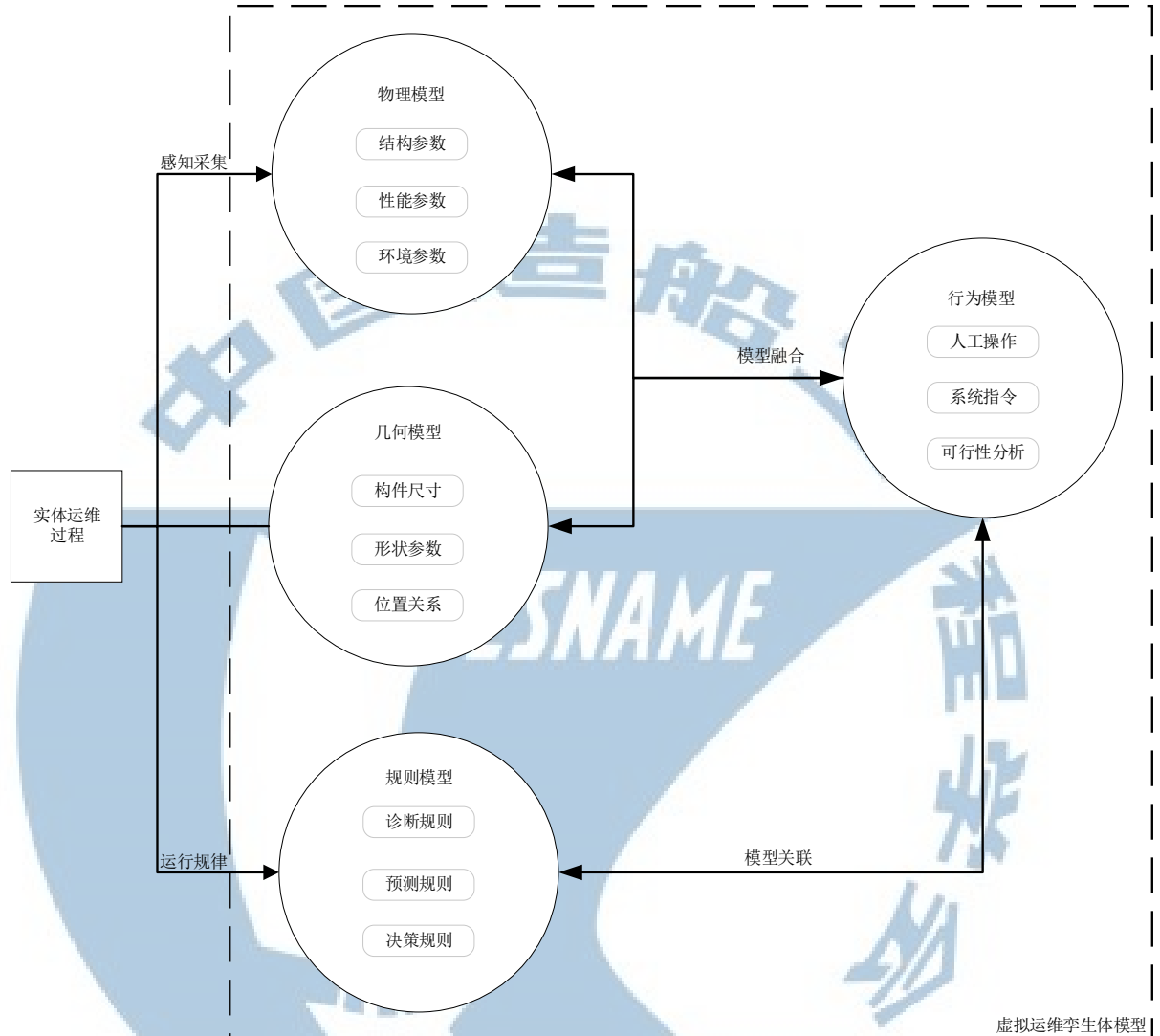
6.1 虚拟运维孪生体应包含物理模型、几何模型、行为模型、规则模型。

6.2 虚拟运维孪生体模型应符合以下要求：

- 功能模型要求：数字空间应根据实体设备建立对应功能的虚拟模型，虚拟模型与实体设备在几何尺寸、物理结构关系、运动特性等方面应一致；

- b) 虚实通讯接口模型要求：孪生体模型应根据运行驱动数据建立通讯信号接口；
c) 虚拟服务模型要求：设备功能的实现、信号的处理、模型行为的指导、运行规则的约束应由虚拟服务支撑。

6.3 虚拟运维孪生体模型见图 2。



- 注1：几何模型：描述船用设备物理实体的几何参数（形状、尺寸、位置等）与关系（如装配关系）的三维模型。可通过三维建模软件（如SolidWorks、3D MAX、Pro/Engineer、AutoCAD等）或仪器设备（三维扫描仪等）创建。
注2：物理模型：在几何模型的基础上增加反映实体物理属性的信息，如：设备的结构性能、约束特征、环境参数等。可通过ANSYS、ABAQUS、Hypermesh等工具从宏观及微观尺度进行动态的数学近似模拟与刻画。
注3：行为模型：描述在不同粒度、不同空间尺度下、不同时间尺度下，通过与实体模型的交互接口，产生的实时响应及行为，如：运维过程中的人工操作或者系统指令的响应。
注4：规则模型：包括基于历史关联数据的规律规则，基于隐性知识总结的经验，以及相关领域标准与准则等，如：设备故障诊断、状态预测、决策规划等与行为模型进行关联，实现对物理实体运行的规则建模。

图2 虚拟运维孪生体模型

7 虚拟运维服务

7.1 功能性服务

功能性服务是以工具组件、中间件、模块引擎等形式支撑虚拟运维内部功能运行。主要包括：

- a) 面向虚拟实体提供的模型管理服务，如建模仿真服务、模型组装与融合服务等；
- b) 面向虚拟运维孪生数据提供的的数据管理与处理服务，如数据清洗、关联、挖掘、融合等服务；
- c) 面向连接提供的综合连接服务，如数据采集服务、感知接入服务、数据传输服务、协议服务、接口服务等。

7.2 业务性服务

业务性服务以应用软件、移动端App等形式满足船用设备远程运维不同用户需求。主要包括：

- a) 面向终端现场操作人员的操作指导服务，如信息查询、虚拟装配、设备维修维护服务等；
- b) 面向专业技术人员的专业化技术服务，如远程运维设备健康评估服务、设备控制策略服务、调度服务、仿真服务等；
- c) 面向远程运维管理决策者的智能决策服务，如可行性分析服务、风险评估服务、趋势预测服务等；
- d) 面向终端用户的产品服务，如用户功能体验服务、虚拟培训服务、远程维修服务等。

8 孪生数据管理平台

8.1 虚拟运维孪生数据

8.1.1 物理实体数据

物理实体数据主要包括船舶设备物理实体规格、功能、性能、关系等物理要素属性数据，以及反映船用设备物理实体运行状况、实时性能、环境参数、突发扰动等动态过程数据。

8.1.2 虚拟模型数据

虚拟模型数据主要包括：

- a) 几何尺寸、装配关系、位置等几何模型相关数据；
- b) 材料属性、载荷、特征等物理模型相关数据；
- c) 驱动因素、环境扰动、运行机制等行为模型相关数据；
- d) 约束、规则、关联关系等规则模型相关数据；
- e) 基于上述模型开展的过程仿真、行为仿真、过程验证、评估、分析、预测等的仿真数据。

8.1.3 服务数据

服务数据主要包括：

- a) 功能性服务相关数据，如算法、模型、数据处理方法等；
- b) 业务性服务相关数据，如控制、决策、设备管理数据等。

8.1.4 知识数据

知识数据包括专家知识、行业标准、规则约束、推理推论、常用算法库与模型库等。

8.1.5 衍生数据

衍生数据是对物理实体数据、虚拟实体数据、服务数据、知识数据进行数据转换、预处理、分类、关联、集成、融合、仿真等相关处理后得到的数据，包括仿真得到的设备模态数据、应力云图数据、温度场数据等。

8.2 孪生数据管理平台

孪生数据管理平台主要实现数据融合，数据预处理，数据挖掘，数据应用4个功能，满足以下要求：

- a) 数据融合：应支持对来自物理空间与虚拟空间的模型数据、仿真数据、管理数据、评估数据实时采集并进行融合；
- b) 数据预处理：应支持数据的边缘预处理,如数据清洗、数据集成、数据转换、数据规约等；
- c) 数据挖掘：应支持数据统计与分析功能。宜采用人工智能等方法进行数据分析挖掘，达到分类、预测、聚类的效果；

- d) 数据交互应用：应支持对运维对象运行状态的评估。通过提取相应参数进行特征级和决策级的数据应用，为实体设备运维和虚拟孪生体的优化提供依据。

9 连接

9.1 实体运维过程和虚拟运维孪生体的连接

实体运维过程和虚拟运维孪生体的连接应满足以下要求：

- a) 应能将采集到的实体运维过程实时数据传输至虚拟孪生体，更新校正各类数字模型；
- b) 应能将虚拟实体仿真分析等数据转化为控制指令，下达至物理实体执行器，实现对实体过程的实时控制。

9.2 实体运维过程和服务平台的连接

实体运维过程和服务平台的连接应满足以下要求：

- a) 应能将采集到的物理实体实时数据传输至服务平台，实现对平台服务的更新与优化；
- b) 服务平台产生的操作指导、专业分析、决策优化等结果应能以应用软件或移动端 App 的形式提供给用户，通过人工或自动操作实现对实体运维过程的调控。

9.3 虚拟运维孪生体和服务平台的连接

应能通过Socket软件接口实现虚拟实体与服务的双向通讯，完成直接的指令传递、数据收发、消息同步等。

9.4 孪生数据管理平台的连接

应设置统一的孪生数据管理平台，对各个层次和应用的数据进行处理和统一管理，以统一的接口实现数据的采集、存储、通讯、驱动等操作。

10 虚拟运维功能要求

10.1 虚拟运维全过程可视化

虚拟运维子系统应在虚拟空间构建设备运行三维可视化虚拟场景，基于采集的设备实际数据，建立设备运维数字孪生体。

10.2 虚拟运维仿真分析

根据设备的正常运行状态参数，将运维措施导入虚拟运维平台的数字孪生体中，仿真分析运维措施的可行性。

10.3 运维策略优化

根据虚拟运维仿真分析，对设备故障进行识别与预测，给出优化的设备运维策略。