

航天装备的知识图谱构建策略与发展探析

杜红艳¹ 王博超¹ 韩嘉航¹ 卜朝燕¹ 蔡元萃²

1 中国航天系统科学与工程研究院 2 中国劳动关系学院

DOI:10.12238/acair.v2i3.8625

[摘要] 航天领域信息化是提升装备性能、优化决策流程、增强任务成功率的关键因素。本文探讨了知识图谱在航天装备信息化中的应用,包括设计辅助与优化、生产过程智能控制、故障诊断与健康管理、辅助管理决策、供应链管理等,针对航天装备的数据质量、知识表示复杂性、知识更新等挑战,提出了从数据-信息-知识到应用的航天装备数据知识图谱构建方法,阐明了知识图谱系统的未来发展趋势和方向,为航天领域智能化发展以及大数据与工业4.0融合提供了思考方向。

[关键词] 知识图谱; 知识抽取; 知识推理; 航天装备

中图分类号: TJ86 文献标识码: A

Knowledge Graph Construction Strategy and Development Analysis of Aerospace Equipment

Hongyan Du¹ Bochao Wang¹ Jiahang Han¹ Chaoyan Bu¹ Yuancui Cai²

1 China Academy of Aerospace Systems Science and Engineering 2 China Institute of Labor Relations

[Abstract] Informatization in the aerospace field is the key factor to improve equipment performance, optimize the decision-making process, and enhance the success rate of missions. This paper discusses the application of knowledge graph in aerospace equipment informatization, including design assistance and optimization, intelligent control of production process, fault diagnosis and health management, auxiliary management decision-making, supply chain management, etc., and proposes a method for building data knowledge graph from data-information-knowledge to application in view of the challenges of data quality, knowledge representation complexity, and knowledge update of aerospace equipment, and clarifies the future development trend and direction of knowledge graph system. It provides a thinking direction for the intelligent development of the aerospace field and the integration of big data and industry 4.0.

[Key words] knowledge graph; knowledge extraction; knowledge reasoning; aerospace equipment

引言

随着科技的不断进步,人类对太空的探索已经从单纯的梦想转变为现实。航天装备作为实现这一壮举的基石,其发展水平直接关系到一个国家在太空领域的实力和影响力。近年来,随着大数据、人工智能、物联网等信息技术的飞速发展,信息化已经成为推动各行各业创新的重要力量。在航天领域,信息技术的应用正逐渐改变传统的设计、制造、测试和运行模式,为航天装备的研发和应用带来革命性的变化。知识图谱,作为一种先进的知识管理和决策支持工具,能够整合分析大量分散的信息,为航天装备设计、制造、运维等提供深入的洞察和实时的决策支持。然而,构建和维护复杂的知识系统并非易事。本文深入讨论知识图谱在航天装备信息化中的应用,分析了其所面临的主要挑战,提出数据-信息-知识到知识应用的航天装备数据知识图谱的构建方法,并指出了未来发展路径方向。

1 知识图谱在航天装备信息化的优势及应用

知识图谱具有数据整合、知识发现的天然优势,能够将分散的数据源整合为统一的知识结构,挖掘装备数据中的隐含模式和关联知识,因此,在航天装备领域应用能够支持智能决策、提升效率。航天装备信息化中的知识图谱应用涉及设计、制造、测试、运行和维护等多方面。

设计辅助与优化: 知识图谱可以集成航天装备设计所需的各种知识,如材料特性、力学原理、热力学特性等,为设计师提供决策支持。利用知识图谱中的规则和模式,可以辅助设计师概念设计、方案评估和设计迭代。制造过程智能化: 知识图谱可以整合制造过程中的关键参数和工艺知识,实现生产过程的智能控制和优化;制造过程中,还可以辅助质量控制,通过实时数据分析预测潜在的生产问题。故障诊断与健康管理: 知识图谱可以整合航天装备故障模式、影响和诊断知识,实现快速准确的故障分析;通过实时监控数据与知识图谱结合,可以预测装备的健康状况,实现故障的早期预警。辅助管理决策支持: 基于知识

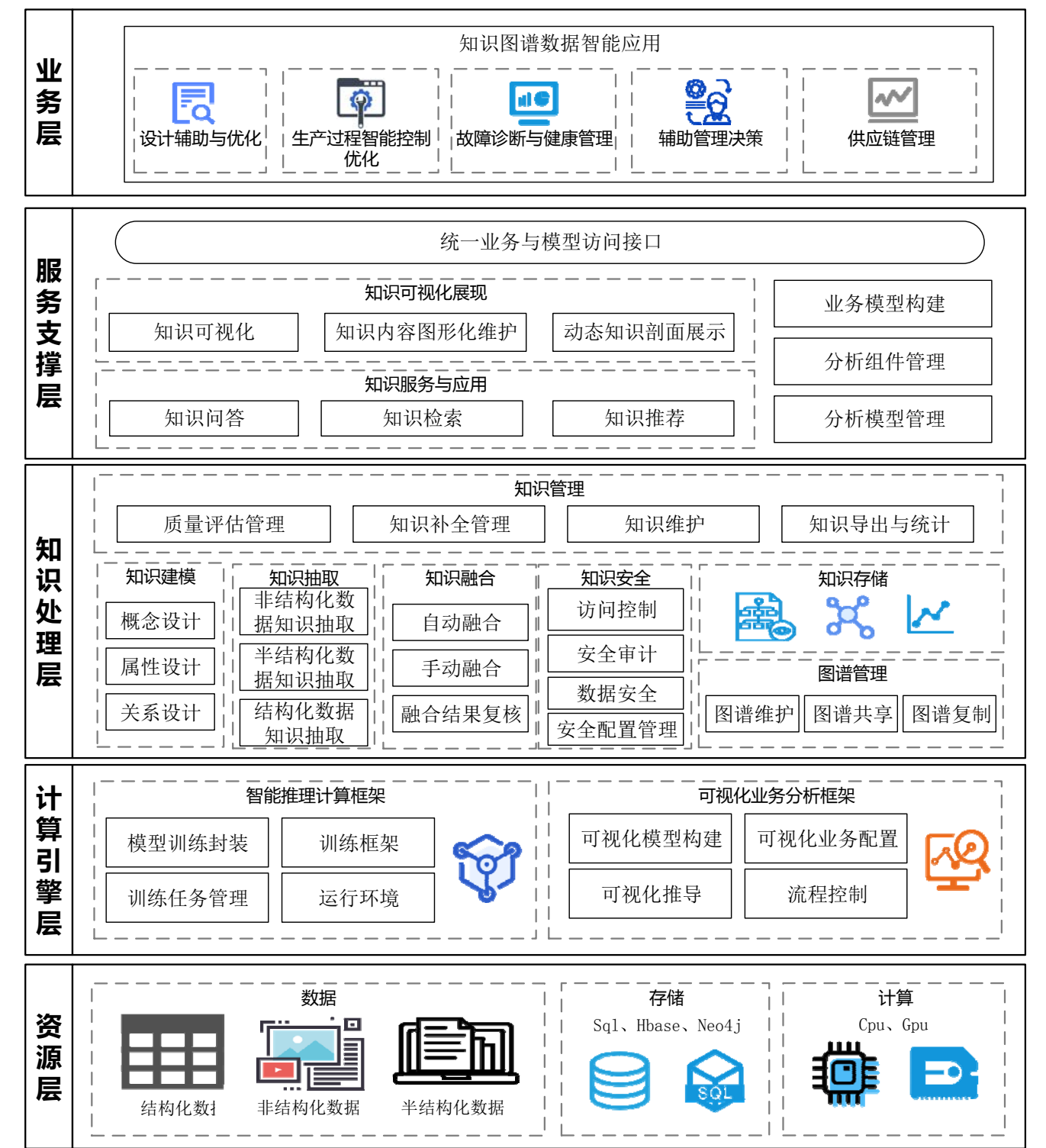


图1 航天装备知识图谱系统的总体架构

图谱可以整合多源情报数据,分析装备发展能力,为发展战略规划提供知识信息支持。供应链管理:知识图谱可以用于管理航天装备的供应链,从原材料采购到成品交付的全过程;利用知识图谱,可以预测供应链风险,优化库存管理^[1-4]。

2 面临的挑战与问题

航天装备数据的知识图谱的构建是一项复杂而重要的任务,它涉及到多个方面的挑战和问题。

数据质量和完整性问题。知识图谱的数据质量是基础。航天装备涉及的数据量庞大来源多样,包括技术文档、传感器数据、历史记录等。这些数据可能存在不一致性、错误或缺失,

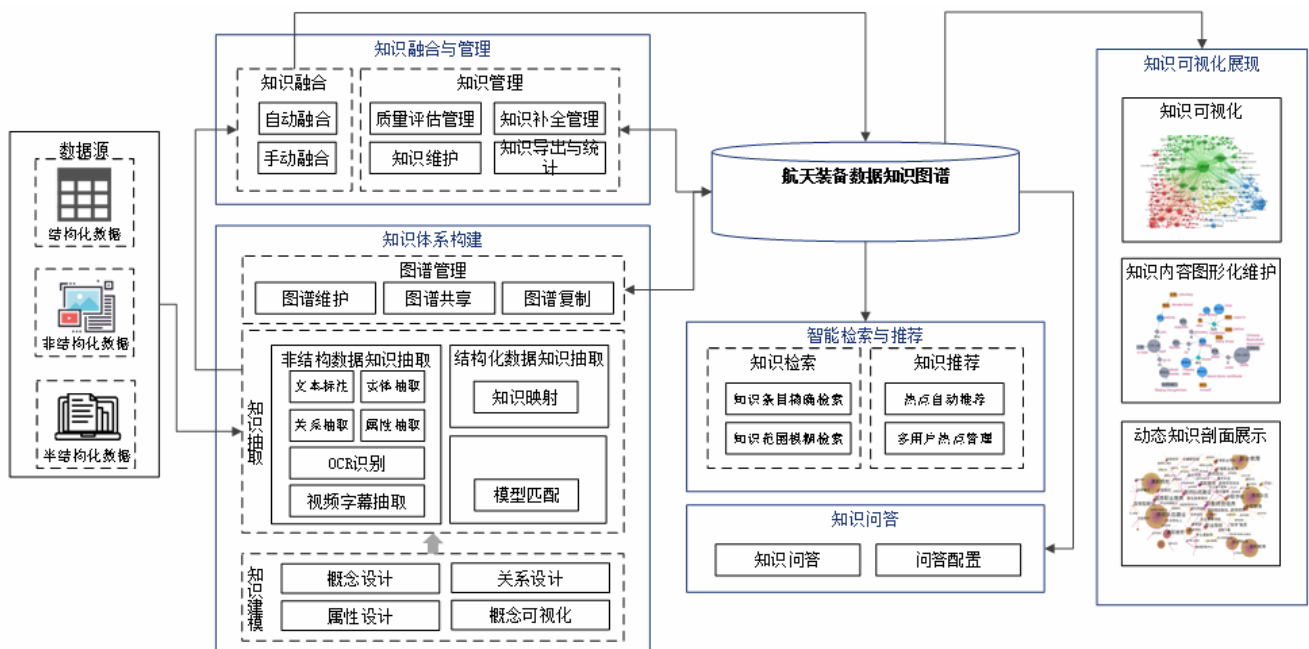


图2 航天装备数据知识图谱系统工作流程图

影响知识图谱的准确性和可靠性。因此,数据清洗、整合和验证是构建高质量知识图谱的前提。

知识表示与推理的复杂性。知识表示与推理的复杂性是关键挑战。航天装备的数据不仅包括结构化数据,还包含大量非结构化数据,如文本、图像等。将数据转化为知识图谱中实体和关系需要复杂的自然语言处理和信息抽取技术。此外,航天装备系统的复杂性要求知识图谱支持复杂的推理,如因果推理、时序推理等,提供深入的洞察和决策支持。

知识图谱的动态更新与维护。知识图谱的动态更新与维护是另一个重要挑战。航天装备的技术和应用在不断发展,知识图谱需要能够及时反映这些变化。这要求建立有效的更新机制,以集成新的数据和知识,同时剔除过时或不准确的信息。

综上,航天装备信息化中知识图谱构建需要综合考虑数据质量、知识表示、动态更新和隐私安全等因素,构建准确、可靠、可持续且安全的知识图谱。因此,本研究提出数据-信息-知识的航天装备数据知识图谱构建方法。

3 航天装备数据知识图谱构建

3.1 航天装备数据分类与特征

基于航天装备的生命周期过程,数据涵盖设计、制造、测试、运行、维护、环境、任务、供应链以及工业门类等多维度。数据类型包括初始设计参数、工艺流程、性能测试结果、实际运行参数、维护记录、空间环境影响、任务执行详情、供应链管理信息以及各工业门类特定数据^[5]。

航天装备数据具有高度专业化、多源异构、工业门类多、供应链交叉等特点。数据涉及众多专业领域,如航空动力学、材料、电子工程等,每个领域有独特的术语和概念体系;数据来源

于不同系统和设备,数据格式和标准不一,需要统一数据模型整合;数据涉及多工业门类,如机械加工、电子装配、复合材料制造等,每个门类有特定的工艺流程和技术标准;供应链数据复杂,涉及多个供应商和承包商,信息流、物流和资金流交叉,需要有效管理和协调。

3.2 航天装备知识图谱构建流程

航天装备数据知识图谱是一种结构化的知识库,利用图形化的方式组织和表示航天领域的数据和知识。这种图谱通常由节点和边组成,其中节点代表实体,如航天器、部件、材料、事件等,边代表这些实体之间的关系,例如部件之间的装配关系或系统间交互作用。

在构建过程中,首先是知识获取,明确知识图谱覆盖的领域。通过数据采集从多种数据源中获取信息,数据源包括技术文档、传感器数据、历史记录等。获取的数据需经过清洗和整合,以确保其质量和一致性。

其次,通过实体识别和关系抽取,将数据中的实体系统化整理,同时提取实体的属性,形成属性-值对。关系抽取是识别和定义实体间关系的过程,关系是知识图谱中边的基础。知识表示则是将这些信息以三元组的形式进行编码,便于存储和查询。通常依赖于自然语言处理技术,包括命名实体识别(NER)和关系抽取算法^[6]。

知识融合是解决来自不同数据源的知识冲突问题,确保知识图谱的一致性和准确性。知识图谱还需要定期更新和维护,以反映最新的航天装备信息和状态。

3.3 航天装备知识图谱系统

知识图谱可以被用于各种应用,如智能查询系统、故障诊断

工具、决策支持系统等,帮助航天研发人员、管理者和决策者提升工作效率。同时,知识图谱还能够支持复杂的分析任务,如预测性维护、性能优化等,从而提高航天装备的运行效率和可靠性。知识图谱作为一种结构化语义知识库,需要通过专门的知识图谱系统管理和应用,从而实现其数据整合、智能分析、决策支持等方面价值。图1和图2分别给出航天装备知识图谱系统的总体架构以及工作运行流程^[7]。

航天装备知识图谱系统总体架构由资源层、计算引擎层、知识处理层、服务支撑层、业务层组成。资源层包含存储资源、计算资源及外部系统接入的数据资源。资源层是系统运行的基础支撑,存储资源实现系统业务数据、结构化及非结构化数据文件存储,计算资源支撑计算引擎的运行。数据资源由其他系统提供,为知识化处理和业务支撑提供数据支持。计算引擎层为系统提供计算、数据处理能力。知识处理层包括数据的知识体系建模、知识抽取、知识融合等,构建形成领域知识图谱。服务支撑层包括知识服务与应用以及知识可视化呈现。

系统面向航天装备故障与诊断、供应链管理需求,汇总来自数据库的大规模、异质多元的数据,构建形成知识图谱。知识图谱的构建中,首先对知识体系建模,形成知识库本体,为知识图谱定义明确的数据模式,然后利用知识抽取、知识融合等技术,抽取海量异构数据源中的实体、属性等关键知识及其相互关系,形成三元组,再通过数据整合、消歧、加工、推理验证等知识融合步骤形成高质量的知识库,从而构建形成知识图谱,并利用Neo4j等图数据库进行储存。知识图谱的持续更新与维护还需通过知识管理功能,对构建的知识图谱进行质量提升。知识图谱构建形成后,将根据不同的场景需求提供对知识图谱的知识访问与可视化呈现,包括知识检索、知识推荐、知识问答等。

4 未来发展趋势和方向

面向航天装备的知识图谱构建其发展趋势和方向体现在多源数据融合、知识图谱的可解释性和信任、知识图谱自适应学习、知识驱动的垂直领域大模型构建等方面。

多源数据融合成为关键方向。这涉及到整合不同来源和类型的数据,形成统一的知识视图。随着航天领域数据量的激增,有效地融合文本、图片、视频等各类数据,提供全面的知识表示,是未来发展的重要课题。知识图谱的可解释性和信任度受到重视。学者已经开始关注知识图谱的可解释性,开发解释知识推理和推荐系统^[8]。知识图谱的可解释性技术可以提高知识图谱构建和推理过程的透明度。知识图谱自适应学习成为重要的关注方面。知识图谱的自适应学习能力是图谱根据用户反馈和新数

据自动更新和调整。未来自适应学习机制将更加复杂和智能,包括多模态学习和跨领域迁移学习,基于此实现更加精准和个性化的知识服务。知识驱动的垂直领域大模型构建。知识图谱将作为预处理的知识库,为AI数据分析提供方向性和精准度,构建专门针对航天垂直领域的大规模知识模型,可以直接赋能航天智能化发展,如智能决策辅助、自动化设计流程、预测性维护^[9]。

未来基于航天装备数据知识图谱实现大数据的融合,可以有力支持航天工业4.0的系统化布局,实现生产过程的数字化、网络化和智能化。

5 结论

本研究深入探讨了装备知识图谱在航天装备信息化中的应用及其构建方法,分析了当前的研究进展和面临的挑战,并展望了知识图谱系统的未来的发展趋势。本研究为航天装备信息化领域提供了方案和发展视角。随着技术的不断进步和应用的深入,航天装备知识图谱有望在未来发挥更加关键的作用。

【参考文献】

- [1]慈颖,秦留洋,韩惠婕.基于航天装备数据的知识图谱体系研究[J].计算机测量与控制,2023,31(5):249-254.
- [2]蔡亚楠,汉鹏武,韩文博,等.基于知识图谱的航天装备质量管理方法研究[J].质量与可靠性,2019(6):5.
- [3]武群惠.面向航天制造企业的供应链知识图谱研究与智能辅助分析示范建设[J].军民两用技术与产品,2021,(09):50-55.
- [4]伊泉剑,黄培政,张宽,等.一种基于知识图谱的在轨航天器设备异常检测方法:202211169784[P].
- [5]李亚楠,田雪颖,王志梅.基于大数据的航天装备试验鉴定数据管理及分析应用研究[J].航天工业管理,2018(10):6.
- [6]何巍.社交网络舆情多模态知识图谱构建框架研究[J].情报杂志,2024,43(1):160-166.
- [7]江志刚,谢彬,朱硕,等.动态数据流驱动的再制造拆解工艺知识图谱构建方法[J].计算机集成制造系统,2024(003):030.
- [8]王亚坤,郭大字,欧阳小叶,等.一种基于多轮生成策略的可解释性知识推理方法:CN202210766991.9[P].CN115688921A.
- [9]王海龙,姜华,王兵.一种基于大模型与知识库生成的智能客服系统:202311422521[P].

作者简介:

蔡元萃(1985--),女,汉族,山西省岚县人,研究方向:知识挖掘、无线网络资源优化。