

基于知识图谱的医疗设备全生命周期管理系统的设计

廉永红¹, 周宇², 梁建丽¹, 黄成恒², 邓成越¹, 张亲娟^{2*}

¹广西中医药大学图书馆, 广西 南宁

²广西中医药大学第一附属医院, 广西 南宁

收稿日期: 2025年1月22日; 录用日期: 2025年2月21日; 发布日期: 2025年2月28日

摘要

医疗设备安全高效运行是医疗服务质量的基础。随着医疗技术进步, 医疗机构对设备依赖加深, 但设备种类繁多、管理复杂。知识图谱作为人工智能技术, 可为医疗设备全生命周期管理提供支持, 实现智能化功能如监测、诊断、评估等。构建知识图谱需建立数据模型、抽取知识和融合不同来源信息。本研究设计了基于知识图谱的医疗设备全生命周期管理系统, 由系统层、数据层、知识图谱层、应用层和分析层组成, 实现了设备监测、故障诊断、健康评估、寿命预测和维修决策等功能, 提高了管理效率和准确性。基于知识图谱的医疗设备全生命周期管理为提升医疗服务质量和患者满意度奠定了基础, 并随着技术进步将迎来更广泛应用和深入发展。

关键词

知识图谱, 医疗设备, 全生命周期管理, 系统设计

Design of Life-Cycle Management System of Medical Equipment Based on Knowledge Graph

Yonghong Lian¹, Yu Zhou², Jianli Liang¹, Chengheng Huang², Chengyue Deng¹,
Qinjuan Zhang^{2*}

¹Library of Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning Guangxi

²First Affiliated Hospital of Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning Guangxi

Received: Jan. 22nd, 2025; accepted: Feb. 21st, 2025; published: Feb. 28th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 廉永红, 周宇, 梁建丽, 黄成恒, 邓成越, 张亲娟. 基于知识图谱的医疗设备全生命周期管理系统的设计[J]. 计算机科学与应用, 2025, 15(2): 230-236. DOI: 10.12677/csa.2025.152050

Abstract

The safe and efficient operation of medical equipment is the basis of medical service quality. With the progress of medical technology, medical institutions rely more on equipment, but there are many kinds of equipment and complex management. As an artificial intelligence technology, knowledge graph can provide support for the life-cycle management of medical equipment and realize intelligent functions such as monitoring, diagnosis and evaluation. The construction of knowledge graph requires the establishment of data model, the extraction of knowledge and the fusion of information from different sources. In this study, a life-cycle management system for medical equipment based on knowledge graph was designed, which was composed of system layer, data layer, knowledge graph layer, application layer and analysis layer, and realized functions such as equipment monitoring, fault diagnosis, health assessment, life prediction and maintenance decision, and improved management efficiency and accuracy. The life-cycle management of medical devices based on knowledge graph has laid the foundation for improving the quality of medical services and patient satisfaction, and will usher in more extensive application and in-depth development with the progress of technology.

Keywords

Knowledge Graph, Medical Equipment, Life-Cycle Management, System Design

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 背景

医疗设备安全高效的运行是医疗服务质量得以保障的基础。随着医疗技术的不断进步，现代医疗机构对医疗设备的依赖程度日益加深，然而，医疗设备规模庞大、种类繁多，且全生命周期管理涉及采购、使用、维护、报废等多个环节，需要多部门协同工作[1]。传统的设备管理方式往往采用分散式的数据存储和管理，导致设备维护数据难以实时共享和有效利用，不利于设备健康状态的实时监测和高质量检修决策的制定。知识图谱作为人工智能领域中的一项重要技术，通过构建结构化的知识网络，能够直观地表达数据之间的关系，为复杂问题的求解提供有力的支持[2]。将知识图谱应用于医疗设备全生命周期管理，可以实现对设备数据的整合、分析和挖掘，为设备状态的实时监测、故障诊断、健康评估、寿命预测和维修决策等提供科学依据，从而提升医疗设备管理的智能化水平和效率。

2. 医疗设备全生命周期管理流程分析

医疗设备全生命周期管理系统的建设是一个复杂而系统的工程，需要以设备健康管理为主线，不仅要实时监测设备的运行状态，还要深入分析影响设备健康的多种因素，如使用环境、操作频率、维护历史等。需要充分考虑不同干系角色的需求和设备状态管理的全过程。医疗设备的管理主要涉及维修工程师、设备使用人员、设备管理人员等关键干系角色。他们分别承担着设备的维修、日常使用和整体管理的职责。医疗设备的状态管理涵盖了从采购到报废的多个阶段，包括采购、验收、日常维护、质控计量、维修和报废等。每个阶段都有其特定的管理需求和标准，需要系统能够全面覆盖这些状态，确保设备在整个生命周期内都处于最佳状态。

因而, 为了实现医疗设备全生命周期的智能管理, 需要利用软硬件结合的形式, 准确地对数据进行自动提取, 以减少人工干预和错误, 提高数据处理的效率和准确性。首先, 需要与医院的 HIS、LIS、PACS 等信息系统对接, 实现数据的共享和交换, 以便医生、护士等医护人员能够方便地获取设备的使用情况和患者的诊疗信息。其次, 还需要实时监控医疗设备的使用过程。通过引入 RFID (无线射频识别) 技术实时获取设备的运行数据, 如使用时间、使用频率、设备状态等, 为设备的维护和管理提供有力的支持。此外, 也可以通过引入物联网技术提升设备信息的收集、传输、存储和分析等方面的效率, 实现设备信息的实时监测和远程管理。

3. 医疗设备全生命周期管理知识图谱构建

3.1. 数据模型构建

数据模型是知识图谱的数据组织框架, 它决定了知识图谱中实体、关系和属性的表示方式。我们采用自顶向下的方式构建医疗设备全生命周期管理知识图谱的数据模型, 首先根据所设计的知识模型确定实体、关系和属性。通过综合分析医疗设备全生命周期管理的业务知识, 明确知识图谱中需要表示的实体(如医疗设备、部件、维修活动等)、关系(如设备属于某类型、设备处于某状态、设备进行了某次维修等)以及属性(如设备的型号、制造商、购买日期等)。同时, 借助 ER 图(实体-关系图)这一工具, 更加直观地表示现实世界中的概念实体及其之间的关系, 从而提取出关键的知识要素作为领域的概念、关系和属性。

3.2. 知识抽取

知识抽取是知识图谱构建的核心环节之一, 它旨在从原始数据中提取出实体对象、属性信息, 并根据关系模式确定实体之间的关系[3]。通过对设备数据源进行实体、关系和事件的抽取, 形成每个事实的“实体-关系-实体”或“实体-属性-属性值”三元组。这些三元组是构成知识图谱的基本单元, 它们将原始数据中的信息以结构化的方式呈现出来, 便于后续的分析和查询。在知识抽取过程中, 我们采用了基于统计的抽取方法, 并应用了深度学习技术来提高抽取的准确性和效率, 使得我们在面对大量文件时能够高效地提取出所需的知识。

3.3. 知识融合

知识融合是将抽取出的多个知识库中的知识进行整合的过程。为了确保知识图谱的一致性和准确性, 对于不同来源、不同格式、不同表述的医疗设备数据, 需要通过知识融合技术将这些不同的表述归结为同一概念。知识融合主要涉及实体对齐、关系对齐和属性对齐三个方面。通过相似度计算、聚合和聚类等技术来实现实体链接, 即将数据资源中抽取得到的不同实体都链接到知识库中对应的正确唯一的实体对象上[4]。值得注意的是, 知识图谱的构建是一个动态和持续的过程。随着医疗设备的不断更新和升级, 以及新的数据源的不断涌入, 知识图谱中的数据也会不断发生变化。因此, 我们需要建立一套完善的知识管理体系, 对知识图谱进行定期的维护和更新。

4. 基于知识图谱的医疗设备全生命周期管理系统架构设计

基于知识图谱的医疗设备全生命周期管理系统, 由系统层、数据层、知识图谱层、应用层以及分析层五大核心组件精密融合而成, 各组件间协同无间, 共同构筑起一套完备、智慧且高效的全方位管理体系, 其架构设计如图 1 所示。

4.1. 系统层

系统层构建了医疗设备全生命周期管理系统的整体结构、组件间的交互方式以及系统的运行环境。

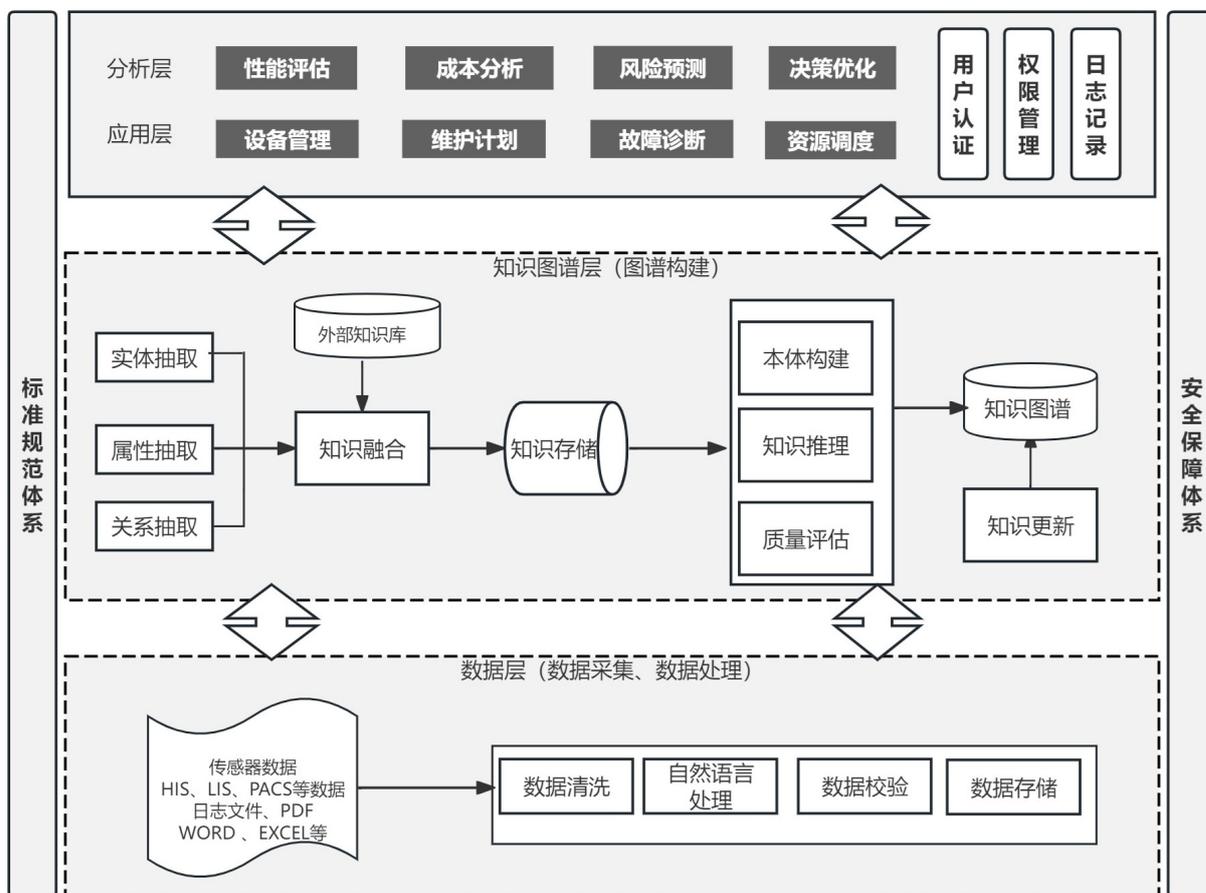


Figure 1. Architecture design of medical equipment life-cycle management system based on knowledge graph
图 1. 基于知识图谱的医疗设备全生命周期管理系统的架构设计

在系统层，整个系统被划分为多个相互独立又协同工作的模块，包括数据采集模块、数据存储模块、知识图谱构建模块、应用服务模块以及数据分析模块。这些模块通过统一的接口规范进行通信，实现了数据的无缝流转与功能的紧集成。系统层还负责系统的权限管理、用户认证、日志记录等安全性设计，确保医疗设备数据的安全性与隐私保护。此外，系统层采用了微服务架构，使得系统能够根据实际需求灵活扩展，轻松应对未来医疗设备数量的增长和管理需求的变化，为系统的长期稳定运行提供了坚实保障。

4.2. 数据层

数据层不仅负责数据的采集、存储，还承担着数据的预处理与质量控制任务。为了确保数据的全面性和准确性，数据层设计了多渠道的数据采集机制，除了传统的传感器和设备接口数据外，还整合了医院信息系统(HIS)、实验室信息系统(LIS)等医疗信息化系统中的相关数据，实现了医疗设备数据的全方位覆盖。在数据存储方面，数据层采用了分布式存储技术，确保海量数据的高效存储与访问。同时，数据层还实施了严格的数据清洗与校验流程，通过算法自动识别和修正数据中的错误与异常，保证了数据的质量与可靠性。经过预处理后的数据，按照统一的格式与标准被送入知识图谱层，为构建医疗设备知识图谱提供了高质量的原材料。

4.3. 知识图谱层

知识图谱层是医疗设备全生命周期管理的智慧中枢，它不仅是对数据层信息的深度整合与提炼，更

是实现智能管理决策的关键。知识图谱层通过定义医疗设备、维护活动、故障类型、维修人员等实体,以及它们之间的关联关系(如“设备-故障”、“设备-维护记录”、“维修人员-维修活动”等),构建了一个复杂而精细的医疗设备知识网络。这个知识网络不仅包含了设备的静态属性(如型号、制造商),还动态记录了设备的运行状态、维护历史、故障模式等动态信息。知识图谱层利用图数据库的高效查询能力,实现了对医疗设备知识的快速检索与分析,为应用层提供了强大的知识支持[5]。此外,知识图谱层还融入了自然语言处理(NLP)技术,能够自动解析医疗文档中的非结构化信息,进一步丰富了知识图谱的内容,提升了系统的智能化水平。

4.4. 应用层

应用层直接面向医院管理人员、技术人员以及医护人员,提供了丰富多样的管理工具和操作界面。在应用层,系统被划分为多个功能模块,如设备管理模块、维护计划模块、故障诊断模块、资源调度模块等。设备管理模块允许用户查看和管理设备的详细信息,包括设备位置、使用状态、维护记录等;维护计划模块根据知识图谱中的维护规则和预测模型,自动生成设备的维护计划,并提醒相关人员执行;故障诊断模块利用知识图谱中的故障模式和关联规则,辅助用户快速定位故障原因,提供维修指导;资源调度模块则根据设备的分布、使用情况和维护需求,优化资源配置,确保医疗设备的高效利用。应用层的设计注重用户体验,通过直观的界面和便捷的操作,降低了使用门槛,提高了工作效率。

4.5. 分析层

分析层是医疗设备全生命周期管理系统的决策支持层,工作重点包括性能评估、成本分析、风险预测和决策优化等方面。性能评估模块通过对设备运行数据的持续监测与分析,评估设备的运行效率、稳定性及可靠性,为设备升级或替换提供数据支持;成本分析模块综合考虑设备的购置成本、维护费用、故障损失等,通过模型预测不同管理策略下的成本效益,帮助医院优化预算分配;风险预测模块利用机器学习算法,识别医疗设备管理中的潜在风险,如设备故障、维护延误等,提前制定预防措施;决策优化模块则结合医院的实际运营情况和管理目标,提供最优的设备管理策略建议,如维护周期调整、资源调配优化等。分析层通过深度分析医疗设备数据,为医院管理层提供了全面、准确的决策信息,助力医院实现医疗设备管理的精细化、智能化。

5. 医疗设备全生命周期管理系统的主要功能模块设计

基于知识图谱的医疗设备的全生命周期管理不仅包括设备的采购和使用,还包括设备的监测、故障诊断、健康评估、寿命预测和维修决策等多个环节。这些环节紧密相连,共同构成了医疗设备全生命周期管理的完整流程。

5.1. 设备监测功能

设备状态监控是医疗设备全生命周期管理的重要组成部分,对设备基础数据、状态信息、维修信息、维修资源信息和系统用户信息等进行采集、存储或处理。监控可以通过传感器、日志分析、远程监控等技术手段实现,这些信息将被整合到知识图谱中,以构建设备状态监控的知识网络。知识图谱的强大关联能力,可以实现对设备数据的整合和挖掘,为实施设备健康管理提供可靠的数据支持。

5.2. 故障诊断功能

采用多种分析方法将采集的数据进行分析处理,查出故障点或劣化点。知识图谱技术整合了设备的历史故障案例、维修记录等宝贵知识,为故障诊断提供了丰富的上下文信息。基于知识图谱的故障诊断

模型能够实时监测设备状态，快速定位故障点，给故障诊断提供了很多有用的背景信息，并智能推荐维修策略，极大地提高诊断的准确性和效率，为医疗设备的及时维修和稳定运行提供了有力支持。

5.3. 健康评估功能

健康评估功能可以基于设备的运行参数、维修历史等信息构建健康评估模型，对设备的整体性能和状态进行量化评估。评估结果可以以健康指数的形式表示，如 0~100 之间的数值，数值越低表示设备状态越差。健康评估包括了对设备的使用频率、wear and tear、历史维修记录等方面的综合考量。知识图谱技术可以将这些信息与设备性能参数、制造商推荐的使用指南等信息关联起来，帮助管理者对设备的健康状况做出准确的评估。

5.4. 寿命预测功能

通过寿命预测功能，可以了解设备的剩余使用寿命和潜在的故障风险，为设备的维修和更换计划制定提供依据。寿命预测功能需要关注预测模型的准确性和适用性，以确保预测结果的准确性和可靠性。同时，还需要关注预测周期和预测方法的可行性。知识图谱汇集了设备的历史使用数据、维修记录和使用环境等信息，为预测模型提供了丰富的数据，帮助预测未来可能的故障时间点，为制定合适的维修计划和更换计划提供科学依据。

5.5. 维修决策功能

维修决策功能可以根据设备的状态和维修需求制定合理的维修计划。例如，当设备的健康指数低于某个阈值时，维修决策功能可以自动生成维修计划，并通知相关人员进行维修。同时，维修决策功能还可以根据备件库存情况和维修资源情况优化维修计划，确保维修工作的顺利进行。知识图谱能够帮助管理者快速了解设备的维修历史、成本估算和可行的维修方案等，还能根据设备的当前状态、维修需求和备件的库存情况，自动制定并优化维修计划，给出最佳的维修策略。

6. 总结

综上所述，医疗设备全生命周期管理是现代医疗管理的基石，知识图谱技术可以通过构建结构化的知识网络，整合、分析和挖掘设备数据，为设备全生命周期管理提供智能化支持。本研究构建了基于知识图谱的医疗设备全生命周期管理框架，实现了医疗设备实时监测、故障诊断、健康评估、寿命预测和维修决策等功能。在医疗设备全生命周期管理过程中，知识图谱发挥了至关重要的作用。它不仅能够实时监测设备状态，快速定位并诊断故障，还能对设备的整体健康状况进行量化评估，预测设备的剩余使用寿命，并为维修决策的制定提供科学依据。这种全面、智能的管理方式极大地提高了医疗设备管理的效率和准确性，确保了医疗设备的安全、高效运行，为提升医疗服务质量和患者满意度奠定了坚实的基础。随着人工智能和大数据技术的不断进步，基于知识图谱的医疗设备全生命周期管理将迎来更广泛的应用和更深入的发展，为医疗设备管理领域带来更多的创新和突破。

基金项目

广西卫健委科研课题(No. Z20200689)。

参考文献

- [1] 陈敏胜, 胡亮, 汤国平. 医疗设备全生命周期管理的建设与实践[J]. 中国医疗设备, 2018, 33(10): 5.
- [2] 刘鹏. 面向领域知识图谱构建的关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安工业大学, 2023.

- [3] 孔令巍. 知识抽取技术及知识图谱构建研究[D]: [硕士学位论文]. 株洲: 湖南工业大学, 2023.
- [4] 谭玲, 鄂海红, 匡泽民, 宋美娜, 刘毓, 陈正宇, 谢晓璇, 李峻迪, 范家伟, 王晴川, 康霄阳. 医学知识图谱构建关键技术及研究进展[J]. 大数据, 2021, 7(4): 80-104.
- [5] 罗兴. 基于知识图谱的设备隐患管理系统的研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学(北京), 2022.