·数字化医疗·

基于物联网技术的MRI检查预约排程管理系统设计与应用

袁欣 张应*

（上海交通大学医学院附属瑞金医院，上海 200025）

【摘要】 **目的** 将物联网技术应用于医院医疗设备管理信息系统建设中，在真实院内环境构建并应用磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI）检查预约排程管理系统，以实现科学的MRI检查预约排程方法，全面提高医院医疗设备检查效率，缩短患者等待时间并优化资源配置。**方法** 利用物联网技术优化整合现有医疗设备资源，结合医院需求，采用自下而上的4层分层架构：数据采集层—数据集成层—应用服务层—应用业务层，构建MRI检查预约排程管理系统，实现设备使用效率分析、患者预约分析、排程记录分析等核心功能。通过比较系统上线前后MRI设备的单台日均工作时长、单台日均开机时长、单台日均服务量、检查间平均间隔时长4个指标，分析系统应用效果。**结果** 系统上线后，MRI设备的单台日均服务量和单台日均工作时长明显提升，检查间平均间隔时长明显降低，差异均有统计学意义（$P<0.05$），单台日均开机时长的差异不具有统计学意义（$P>0.05$），表明系统对提升MRI设备使用效率有促进作用。**结论** 系统应用后，显著提高了MRI检查设备的服务人次，有效缩短了检查间的平均间隔时长，显著提升了医院MRI检查设备的使用率。该管理系统不仅为医院管理者提供了科学的数据支撑，还为提升医院的社会和经济效益提供了有效且可行的管理手段，具有广泛的应用前景和推广价值。

【关键词】 物联网；磁共振成像；预约排程；管理策略；患者满意度

【中图分类号】 R197.32 【文献标识码】 A 【DOI】 10.11876/mimt202505014

Design and application an MRI examination appointment scheduling management system based on internet of things technology

*Yuan Xin, Zhang Ying**

(*Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine*, *Shanghai 200025*, *China*)

【**Abstract**】 **Objective** Applying internet of things(IoT) technology in the construction of hospital medical equipment management information system, and constructing and applying an magnetic resonance imaging(MRI) examination appointment scheduling management system in a real hospital environment, in order to achieve a scientific MRI examination appointment scheduling method, comprehensively improve the efficiency of hospital medical equipment examination, shorten patient waiting time, and optimize resource allocation. **Methods** The system optimizes and integrates the existing medical equipment resources by using IoT technology, and combines the hospital's demands. It adopts a four-layer hierarchical architecture from bottom to top: data collection layer – data integration layer – application service layer – application business layer, to build an MRI examination appointment and scheduling management system. This system realizes core functions such as equipment usage efficiency analysis, patient appointment analysis, and scheduling record analysis. By comparing four indicators – the average daily working hours per MRI device, the average daily on-time hours per MRI device, the average daily number of patients served per MRI device, and the average interval time between examinations – before and after the system's launch, the application effect of the system is analyzed.

基金项目：上海交通大学中国医院发展研究院2024年度医院管理建设项目（CHDI-2024-A-03）

第一作者：袁欣，女，硕士研究生，中级经济师，研究方向：医学装备智慧化管理

通信作者：张应，女，硕士研究生，高级经济师，研究方向：医学装备管理

Results After the application of the system, the average daily number of patients served and average daily working hours per MRI device significantly increased, and the average interval time between examinations significantly decreased, with all differences being statistically significant ($P<0.05$). However, the difference in the average daily on–time hours per device was not statistically significant ($P>0.05$), indicating that the system has a promoting effect on improving the utilization efficiency of MRI devices. **Conclusion** After the system was applied, the service volume of MRI equipment were significantly improved, the average interval time between examinations was effectively shortened, and the utilization rate of hospital MRI equipment was significantly improved, This management strategy and optimization method not only provide scientific data support for hospital managers, but also provide effective and feasible management tools to enhance the social and economic benefits of hospitals, with broad application prospects and promotion value.

【**Key words**】 Internet of things (IoT); Magnetic resonance imaging (MRI); Appointment scheduling; Management policy; Patient Satisfaction

近年来，国家层面持续推进公立医院高质量发展与智慧医院建设。《国务院办公厅关于推动公立医院高质量发展的意见》（国办发〔2021〕18号）明确提出，推动云计算、大数据、物联网、区块链、第五代移动通信（5G）等新一代信息技术与医疗服务深度融合[1]。同时，《国家卫生健康委办公厅关于进一步完善预约诊疗制度加强智慧医院建设的通知》（国卫办医函〔2020〕405号）要求各医院要进一步建立完善预约诊疗制度，并建立业务运行等医院运营管理平台，提升医院管理精细化水平[2]。

磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI）作为对流程与资源协同要求极高的医院关键影像设备，其预约排程的科学化不仅关系患者就医体验与便捷性，也直接影响医院的运营效率[3]。然而，现阶段在MRI设备使用中，医院普遍面临以下管理挑战：①检查序列较多导致单次检查时长较长，预约等待时间增加[4]；②预约排程缺乏科学的规划和管理，设备使用效率待提升；③高低端设备、检查部位等统筹存在缺乏合理分配的情况；④设备配置缺乏客观数据的支撑[5]。为此，上海交通大学医学院附属瑞金医院依托物联网技术构建MRI检查预约排程管理系统，通过实时数据采集与信息融合提升MRI设备管理的智能化水平，实现检查流程优化与资源配置效率提升[6]。

1 系统设计

1.1 系统设计思路

为了应对当前医院在MRI设备管理和排程优化中面临的挑战，构建了一个基于数据采集与信息融合的MRI检查预约排程管理系统。该系统旨在通过实时数据采集、智能化排程和优化算法的结合，提升MRI设备的使用效率，缩短患者等待时间，从而改善医院的资源配置与服务质量。

系统设计遵循以下建设原则。①数据驱动：以MRI设备和医院信息系统中的实际数据为基础，确保排程优化的决策精准且科学；②智能化优化：通过算法自动化生成最优排程，减少人工干预，提高效率；③实时调整：系统能够实时更新设备状态与排程情况，快速响应临床需求与突发状况；④安全性和隐私保护：对患者数据进行加密和脱敏处理，确保系统符合相关隐私保护法规；⑤可扩展性与灵活性：系统架构设计支持未来扩展，能够接入更多设备和医疗系统，满足医院发展的需要。

1.2 系统技术架构

系统采用自下而上的分层架构，共分为4层：数据采集层、数据集成层、应用服务层、应用业务层，见图1。底层围绕 MRI 检查流程与设备运行产生的关键事件进行结构化采集；中间层完成与院内信息系统的主数据对齐与特征构建；上层以“规则—计算—任务编排”实现预约排程优化，并以业务分析形成“监测—分析—优化”的闭环[7]。

1.2.1 数据采集

数据采集层负责从MRI设备和医院其他信息系统中实时采集关键信息[8]。在本系统中，物联网技术被应用于MRI工作站，通过安装专门的物联网采集装置来实时获取设备的状态信息。具体来说，



图 1 系统技术架构

系统通过视频分频技术，将MRI工作站的视频输出信号进行分频处理，并使用光学字符识别（optical character recognition, OCR）技术从视频信号中提取关键信息，包括：影像号（对应每次MRI检查的唯一标识）、检查部位（具体的检查区域，如头颅、腹部等）、设备运行状态（工作、待机、关机等）、检查开始与结束时间（准确记录每次MRI检查的时间戳）。

所有采集到的信息都与设备的唯一标识如设备编号绑定，并通过网络实时发送至院内的服务器进行存储和处理。这些信息为后续的数据集成与优化提供了准确、实时的数据支持。

1.2.2 数据集成

数据集成层负责将采集到的数据与医院现有信息系统中的其他数据进行融合[9]，以形成一个全面、统一的数据基座。具体来说，数据集成层将对以下数据进行对接和整合。①设备运行数据：即物联网采集的数据。②设备运营管理数据：包括设备的资产信息等，确保设备的运营管理数据的同步。③医院接口数据，包括：医院信息系统（hospital information system, HIS）统计的检查项目、服务收入等信息；影像归档和通信系统（picture archiving and communication system, PACS）统计的影像号、报告信息，与设备的检查数据进行关联；医院资源规划系统（hospital resource planning, HRP）统计的设备维护和保养、成本数据；预约系统统计的患者预约数据。

通过这些数据源的融合，系统能够为每台MRI设备生成全面的运营视图，帮助医院管理者了解设备的使用情况，这些集成后的数据为排程优化和决策支持提供了强有力的数据支撑[10]。

1.2.3 应用服务

应用服务层负责提供排程优化的核心服务[11]，该层主要包括以下模块。①数据计算引擎：负责对从数据采集层和数据集成层获取的实时数据进行处理和分析。②规则引擎：结合数据计算引擎的输出结果，确保排程方案符合医院的运营需求和实际限制。③任务调度中心：负责管理和调度系统中的所有任务，包括排程任务、数据更新任务和报告生成任务等。④缓存服务：优化系统的响应速度，减少对数据库的频繁访问，提升数据访问效率。⑤搜索引擎：提供高效的数据检索功能，帮助医院管理人员快速获取排程数据、设备使用记录等信息。

1.2.4 应用业务

应用业务层面向医院管理人员、临床医护人员，提供数据分析、业务报告和决策支持服务，

该层主要包括以下功能。①设备效率分析：通过对MRI设备的使用数据进行分析，评估设备的工作效率，包括服务时长和使用率、设备空闲时间分析等。②患者预约分析：通过对患者预约数据的分析，分析不同排程策略对患者体验的影响，包括预约时长分析、预约时段分布等。③排程记录分析：对实际的MRI排程数据进行回溯分析，评估设备使用的连续性和排程效果，包括部位连续性分析、优选效果评估。④配置服务分析：对不同品牌、型号、特性设备的使用差异进行分析，包括设备性能对比、设备采购分析等，帮助医院作出更加科学的设备采购和配置决策。

1.3 系统可视化

系统可视化界面提供总览看板、设备效率分析、患者预约分析、排程记录分析、配置服务决策等功能。页面均支持多维筛选与一键下钻，见图2。



图2 系统可视化界面

针对医院管理人员、运营管理人员，可对全院以及各院区MRI运行情况、配置服务情况与投入产出情况进行查看，观测服务量、患者等待情况与资源配置成效。

针对临床科室人员，可对设备效率分析、患者预约分析、排程记录分析与机器运行下钻进行查看，识别峰谷负载、流程瓶颈与运行动态变化。

2 预约排程优化

2.1 问题发现

依托系统可视化界面，对院内MRI运行情况进行连续监测。数据揭示的主要问题包括：①单台MRI日均服务量低而工作时长高，扫描时长超15 min的检查项目占比67%，提示疑难病症诊察量多；②时段负载不均，MRI上午使用率超过90%，下午存在可利用空窗。

据此，将系统数据用于MRI检查预约排程管理，以“减少摆位时间、缩短检查间隔、均衡时段负载”为优化主线。

2.2 改进措施

医院北部院区与总院区实施“垂直化管理、一体化运营、同质化医疗”模式，两院区实现管理、技术、设备无缝对接，引流患者至北部院区，减轻总院区影像检查压力。根据数据反映的预约排程问题，医院制定并实施了以下管理措施。

（1）整合检查类型，减少摆位时间。对部位/序列组进行建模，设定“同类成组、最小切换”的排布原则。根据检查部位，将同质化程度高的检查成组连续执行，避免打断成组节奏，见图3。

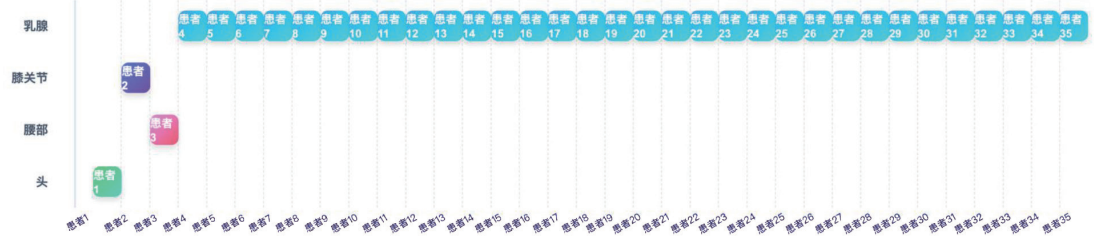


图3 门诊MRI检查预约排程改进后检查按部位成组连续执行示意

（2）优化诊疗流程，缩短检查间隔。结合系统发现的“上午高、下午低”负载特征，通过资源调配与流程再设计压缩间隔，见图4。实行动态排班与弹性预约、候补队列、滚动重排等一系列具体功能，将常规检查分流至下午，预留上午时段给急诊和复杂病例，并实行“智能候补队列”填充预约取消的空档。

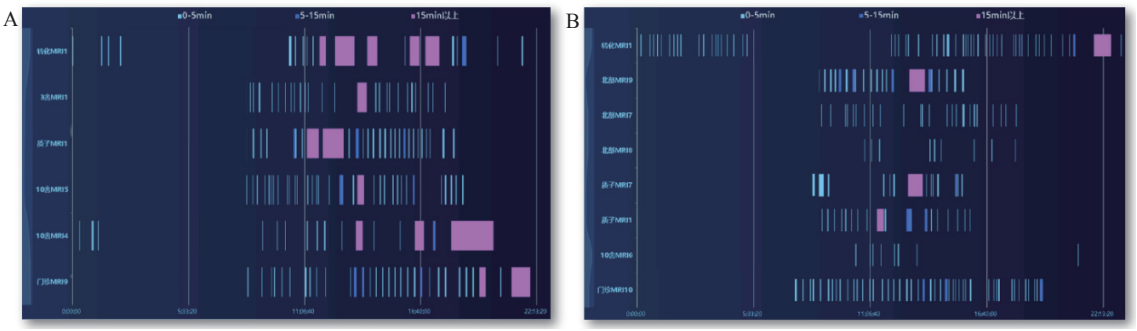


图 4 MRI 检查预约排程改进前后检查间隔变化 A 改进前；B 改进后

3 系统应用效果

3.1 一般资料

以医院纳入管理系统的 14 台 MRI 设备作为研究对象，对照组为 2022 年 1 月—9 月 MRI 检查预约排程管理系统上线前的 MRI 设备使用数据，观察组为 2024 年 1 月—9 月 MRI 检查预约排程管理系统上线后的 MRI 设备使用数据。

3.2 观察指标

（1）单台日均工作时长：指统计期内平均每台医疗设备每个工作日开机状态下患者诊疗时长，单台日均工作时长 =∑(第 i 个患者诊疗结束时刻–第 i 个患者诊疗开始时刻)/(统计期内设备数量 × 统计期内工作日数量)。

（2）单台日均开机时长：指统计期内平均每台医疗设备每个工作日通电后从首位患者诊疗开始到末位患者诊疗结束的时长，单台日均开机时长 =∑(末位患者检查或治疗结束时刻–首位患者检查或治疗开始时刻)/(统计期内设备数量 × 统计期内工作日数量)。

（3）单台日均服务量：指统计期内平均每台医疗设备每个工作日服务的检查或治疗数量，单台日均服务量 = 设备服务的检查或治疗总量/(统计期内设备数量 × 统计期内工作日数量)。

（4）检查间平均间隔时长：指统计期内平均每台医疗设备每个工作日开机状态下相邻的下一个患者的诊疗开始时刻与上一个患者的诊疗结束时刻之间的间隔时长，检查间平均间隔时长 =∑(第 i+1 个患者诊疗开始时刻–第 i 个患者诊疗结束时刻)/［统计期内设备数量 × 统计期内工作日数量 ×(统计期内患者数量–1)］。

3.3 统计学方法

应用 SPSS 25.0 软件进行数据统计分析，计量资料以均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，组间比较采用独立样本 t 检验。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

3.4 结果

统计结果显示，观察组的单台日均服务量和单台日均工作时长均显著高于对照组，差异具有统计学意义（P<0.05）；观察组的检查间平均间隔时长显著低于对照组，差异具有统计学意义（P<0.05）；两组单台日均开机时长差异不明显，见表 1，表明应用 MRI 检查预约排程管理系统后，MRI 设备整体使用效率显著提高。同时，医院 2024 年 1 月—9 月总体 MRI 设备预约等待天数较 2022 年 1 月—9 月下降 57.64%，其中，平扫预约等待天数下降 43.79%，增强预约等待天数下降 73.55%，表明管理系统应用后，显著降低了患者的预约等待时长，从而提升患者就医体验与满意度。

表 1 MRI 检查预约排程管理系统上线前后 MRI 设备使用数据比较（$\bar{x} \pm s$）

组别	单台日均工作时长（h）	单台日均开机时长（h）	单台日均服务量（人次）	检查间平均间隔时长（min）
对照组	8.23 ± 1.72	9.90 ± 1.72	33.49 ± 8.23	2.92 ± 0.64
观察组	10.09 ± 2.11	10.80 ± 1.92	42.17 ± 10.46	2.22 ± 0.41
t 值	–2.612	–1.361	–2.493	4.197
P 值	0.007	0.093	0.010	<0.001

4 讨论

本研究设计并在医院内部署了基于物联网技术的 MRI 检查预约排程管理系统，以同类成组、最小切换、候补重排、时段配额、跨院区分流等策略实现管理决策辅助，实现了对预约排程的深度优化，显著提高了设备的使用效率，减少了患者的等待时间。研究成果不仅提升了医院的经济效益，还极大地改善了患者的就医体验，对预防和临床治疗具有重要意义，如提高诊断效率、减轻患者焦虑等。

（下转第 108 页）

烯腈在耐酸、耐碱方面，纤维素酯类、聚酰胺类、聚砜类在耐酸耐有机溶剂、耐碱耐有机溶剂方面的开发，但需综合评估技术可行性与市场前景；需持续关注高性能聚合物、复合材料和绿色制膜工艺的研究与保护。总体而言，建议行业聚焦于新型膜材料开发和制备工艺创新，同时强化专利布局与规避设计，以提升膜产品的综合耐化学性与适用性。

[参 考 文 献]

［1］ 王筠. 化工新材料及其应用［M］. 北京: 科学技术文献出版社, 2023: 91–103.
［2］ 李江, 负延滨. 膜技术在医药领域中的应用［J］. 宁夏医学院学报, 2008, 30(1): 116–120.
［3］ 杨越辉, 夏志新, 熊宪明. 污水处理厂设备运行管理［M］. 北京: 中国环境出版社, 2022: 101.
［4］ 陈忠林, 赵晟锌. 水环境综合实验指导［M］. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2021: 148.
［5］ 王鹤铭, 刘恩华, 魏飞. 聚偏氟乙烯–聚酰胺管式复合膜的分离性能研究［J］. 水处理技术, 2021, 47(3): 47–51.
［6］ 黄晨. 无机陶瓷膜专利信息分析研究［D］ 景德镇: 景德镇陶瓷大学, 2021.
［7］ 王文娟. 分离膜亲水改性技术专利申请状况与发展［J］. 广东化工, 2014, 41(4): 55–56.
［8］ 孟浩文, 陈佳佳. 聚偏氟乙烯膜的专利分析［J］. 有机氟工业, 2022(2): 35–38.
［9］ 蔺爱国, 林立刚, 张贵才. 新型功能膜技术及其应用［M］. 东营: 中国石油大学出版社, 2013: 23–31.
［10］ 杨座国. 膜科学技术过程与原理［M］. 上海: 华东理工大学出版社, 2009: 70–71.
［11］ 时钧, 袁权, 高从堦. 膜技术手册［M］. 北京: 化学工业出版社, 2001: 341.
［12］ 何领好, 王明花. 功能高分子材料［M］. 武汉: 华中科技大学出版社. 2017: 239–243.
［13］ 邵刚. 膜法水处理技术［M］. 2版. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 250–256.
［14］ 藏雨, 程伟东, 兰天宇, 等. 气体分离膜材料科学［M］. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2017: 243–244.
［15］ 徐怀德, 罗安伟. 天然产物提取工艺学［M］. 2版. 北京: 中国轻工业出版社, 2020: 86–92.
［16］ 李仕琦. 新型耐有机溶剂分离膜制备及性能研究［D］. 锦州: 渤海大学, 2021.
［17］ 王丽, 郝延蔚, 周亮. 化工新材料概论［M］. 成都: 电子科技大学出版社, 2020: 199.
［18］ 张春晖, 何绪文, 李开和. 过滤技术在环境工程中的应用［M］. 北京: 中国环境出版社, 2011: 55–56.
［19］ 丁启圣, 王维一. 新型实用过滤技术［M］. 3版. 北京: 冶金工业出版社, 2011: 515–516.
［20］ 李礼. 浸渍法制备氧化铝陶瓷膜的工程技术研究［D］. 广州: 华南理工大学, 2021.

（上接第89页）

本研究的管理意义在于，在不显著增配设备与配套人力资源的前提下，通过流程重塑与策略配置即可实现效率提升与体验提升，推动高峰错峰与低谷回填，形成“看得见—调得动—评得出”的精益闭环。医院应继续深化物联网技术在医疗设备管理中的应用，同时考虑将优化策略推广至其他大型医疗设备，以进一步提高整体医疗服务水平。

本研究在研究范围及广度上也存在一定的局限性：研究主要是基于单一医院单一种类设备的数据进行分析，样本量相对有限；同时，在优化策略的制定和实施过程中，对医院其他资源的协调和优化考虑不足。下一步，计划联合多家医院开展研究，收集更广泛的数据；在制定和优化策略时，综合考虑医院的各种资源，以实现资源的整体协调和优化。

[参 考 文 献]

［1］ 国务院办公厅. 关于推动公立医院高质量发展的意见［EB/OL］. (2021–05–14)［2025–11–11］. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5618942.htm.
［2］ 国家卫生健康委办公厅. 关于进一步完善预约诊疗制度加强智慧医院建设的通知［EB/OL］. (2020–05–21)［2025–11–11］. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020–05/22/content_5513897.htm.
［3］ Cayirli T, Veral E. Outpatient scheduling in health care: a review of literature［J］. Production and Operations Management, 2003, 12(4): 519–549.
［4］ Silva–Aravena F, Morales J, Jayabalan M, et al. Optimizing MRI scheduling in high–complexity hospitals: a digital twin and reinforcement learning approach［J］. Bioengineering, 2025, 12(6): 626.
［5］ 李桦. 数据要素价值链视域下医院医疗服务资源配置模式研究［D］. 长春: 吉林大学, 2023.
［6］ 邹瑜, 孔德香, 汪璠, 等. 精益管理对改善CT和MRI检查服务流程的应用效果［J］. 医疗装备, 2023, 36(11): 38–41, 45.
［7］ Belmonte E M, Tortosa S O, Frick R J R. Proposal for a standard architecture for the integration of clinical information systems in a complex hospital environment［J］. Informatics, 2021, 8(4): 87.
［8］ Haleem A, Javaid M, Singh R P, et al. Blockchain technology applications in healthcare: an overview［J］. International Journal of Intelligent Networks, 2021, 2: 130–139.
［9］ 冯尘尘, 张欣莉, 刘嘉怡, 等. 国内外门诊预约挂号调度系统研究进展［J］. 西南国防医药, 2021, 31(3): 265–268.
［10］ 潘兴薇, 耿娜. 面向核磁共振检查的预约调度仿真优化研究［J］. 工业工程与管理, 2016, 21(6): 17–23.
［11］ 朱黎敏, 耿娜, 谢晓岚. 基于MDP的门诊病人图像检查最优预约调度［J］. 工业工程与管理, 2014, 19(3): 101–108, 115.