

AI 驱动下智慧医疗运营架构及资源效率与韧性提升研究

陈冰

北京美亚东方医信投资咨询有限公司

DOI:10.32629/irmet.v3i2.19170

[摘要] 在全球医疗资源供需失衡、传统运营难适应复杂诊疗需求的背景下,人工智能为医疗运营智能化转型提供关键支撑。本文聚焦AI驱动的智慧医疗运营架构创新,探讨医疗资源动态调度机理、配置效率优化及系统韧性增强路径。通过构建“数据感知-模型决策-智能调度-持续优化”闭环框架,揭示AI算法重构科室资源分配的作用机制,提出多智能体协同的资源流转优化模型,为构建自适应、自修复的现代医疗运营体系提供理论与路径支持。

[关键词] 智慧医疗; 运营架构; 资源配置; 系统韧性; AI算法

中图分类号: R197.8 文献标识码: A

Research on AI driven intelligent healthcare operation architecture and resource efficiency and resilience improvement

Bing Chen

Beijing Meiya Medical Information Investment Consulting Co., Ltd.

[Abstract] Against the backdrop of global imbalance in the supply and demand of medical resources and the difficulty of traditional operations in adapting to complex diagnosis and treatment needs, artificial intelligence provides key support for the intelligent transformation of medical operations. This article focuses on the innovation of AI driven smart medical operation architecture, exploring the dynamic scheduling mechanism of medical resources, optimization of configuration efficiency, and path to enhancing system resilience. By constructing a closed-loop framework of "data perception model decision-making intelligent scheduling continuous optimization", this paper reveals the mechanism of AI algorithm reconstruction of departmental resource allocation, proposes a multi-agent collaborative resource flow optimization model, and provides theoretical and path support for building an adaptive and self-healing modern medical operation system.

[Key words] Smart healthcare; Operational architecture; resource allocation System resilience; AI algorithm

引言

在医疗健康领域,随着社会对医疗服务质量与可及性要求的持续提升,以及疾病谱复杂化、患者需求多样化等趋势的加剧,传统医疗运营模式在资源分配、服务响应及风险应对等方面逐渐暴露出诸多局限性。医疗资源供需在时空维度上的不匹配,已成为制约医疗服务效能提升的关键瓶颈^[1]。与此同时,人工智能技术的突破性进展为医疗运营体系革新提供了全新范式,其强大的数据处理能力、模式识别优势及智能决策支持特性,能够有效破解传统模式下的资源调度僵化、服务链条割裂等难题。本文以AI驱动的智慧医疗运营架构为研究对象,系统探讨人工智能技术在优化医疗资源配置、提升运营效率及增强系统韧性等方面的作用机制,旨在为构建高效、弹性、可持续的现代医疗运营体系提供理论参考与实践指引。

1 医疗运营智能化转型与资源调度机理研究

1.1 医疗服务体系与AI技术融合逻辑

医疗服务体系与人工智能技术的深度融合,是推动医疗运营智能化转型的核心动力。从大型医疗机构数字化演进历程来看,大致历经三个阶段:电子病历普及期,医疗机构逐步实现诊疗数据电子化存储与共享,为后续数据分析奠定基础;流程自动化改造期,借助信息技术优化挂号、缴费、取药等环节,提升服务效率;智能决策系统建设期,依托人工智能算法实现精准诊断、个性化治疗及资源智能调度^[2]。在此进程中,科室资源分配体系发生深刻变革。传统模式依赖经验进行静态分配,易造成资源闲置与短缺并存,如部分医院手术室利用率波动明显。而AI模式通过动态需求预测与实时调度,利用机器学习算法分析历史数据,精准预测门诊量、手术需求等,实现资源按需分配,提升资源利用的均衡性。

1.2 全链路运营闭环特征分析

全链路运营闭环涵盖数据输入、模型分析、智能调度与反馈优化四个关键层级。数据输入层聚焦多源异构数据治理,将结构化的医院信息系统、电子病历数据与非结构化的医学影像数据融合处理,运用基于孤立森林的异常值检测算法,确保数据质量。模型分析层构建混合智能决策模型,强化学习在急诊分诊中发挥重要作用,通过深度Q网络算法快速决策,缩短响应时间;数字孪生技术构建虚拟运营环境,模拟真实场景,为决策提供精准依据,降低误差率。智能调度层采用多目标优化机制,以等待时间最小化与资源利用率最大化为目标函数,同时兼顾医疗安全规范、设备维护周期等约束条件,实现资源合理调配。反馈优化层设计闭环控制系统,建立实时监控指标体系,设定动态阈值,运用在线学习框架实现模型迭代,持续提升运营效能。

1.3 峰值供需矛盾缓解机制

峰值供需矛盾是医疗运营中的突出问题,预测性分析为缓解该矛盾提供有效手段。在流感季等特殊时期,通过对历史流行病学数据、气象数据等多维度信息分析,延长门诊量预测提前量,为资源调配争取时间。同时构建弹性资源池是重要策略。建立兼职医师库,根据实时需求动态调配医师资源,在保障医疗质量前提下,灵活应对突发需求,实现医疗资源的高效利用与供需平衡。

2 多维资源配置效率的建模与量化分析

在医疗运营智能化转型进程中,多维资源配置效率的优化是提升整体医疗服务效能的关键环节。通过构建科学合理的模型并进行量化分析,能够精准识别资源配置中的问题,为决策提供有力依据,实现资源的高效利用。

2.1 关键资源动态平衡模型构建

2.1.1 人力成本优化模型

人力成本在医疗运营中占据重要比例,优化排班与合理调度医护人员是降低成本、提高效率的重要途径。基于遗传算法的护士排班系统,通过模拟生物进化过程中的自然选择和遗传机制,对排班方案进行不断优化^[3]。该系统综合考虑护士的技能水平、工作经验、个人偏好以及工作强度等因素,生成科学合理的排班表,有效降低了人力成本。同时构建技能矩阵匹配模型,依据医护人员所掌握的多项技能,结合不同科室的工作需求,实现多技能医护人员的精准调度,进一步提高人力资源的利用效率。

2.1.2 药品周转效率模型

药品作为医疗服务的重要物资,其周转效率直接影响医疗成本和患者用药的及时性。运用XGBoost算法进行慢病药品需求预测,该算法通过对大量历史销售数据、患者就诊信息以及季节因素等多维度数据的分析和学习,能够准确预测药品的需求量,从而合理调整库存水平,提升库存周转率。此外实施供应商管理库存模式,加强医院与供应商之间的信息共享与协同合作,使供应商能够根据医院的实际需求及时补货,减少库存积压和缺货现象的发生,优化药品供应链。

2.1.3 设备稼动率提升模型

医疗设备的正常运行是保障医疗服务质量的基础,提高设备稼动率能够充分发挥设备的效能。基于故障预测与健康管理的医疗设备健康管理系统,通过安装在设备上的各种传感器,实时采集设备的运行数据,并运用数据分析算法对设备的健康状态进行评估和预测。提前发现设备潜在故障,及时安排预防性维护,减少设备故障停机时间,延长设备使用寿命。搭建共享设备调度平台,打破科室之间的设备使用壁垒,根据各科室的设备需求和使用时间,实现跨科室设备的合理调配,提高CT机等大型共享设备的利用率。

2.2 多智能体协调模型设计

2.2.1 智能体角色定义

在医疗运营系统中,不同部门和环节具有不同的职能和目标,将其抽象为不同的智能体。临床科室智能体负责患者的诊断和治疗工作,其决策优先级根据患者的病情严重程度和紧急程度设定;后勤保障智能体负责物资供应、设备维护等资源保障工作,其行动受到资源约束条件的限制^[4];管理决策智能体从医院整体运营的角度出发,制定全局优化目标,协调各智能体之间的行动,实现医院资源的优化配置和运营效率的提升。

2.2.2 协调机制设计

为确保各智能体之间能够有效协作,设计合理的协调机制至关重要。合同网协议在跨部门协作中发挥重要作用,通过模拟市场中的合同签订过程,各智能体之间可以就资源分配、任务协作等问题进行协商和交易,实现资源的合理配置和任务的高效完成。拍卖机制则在稀缺资源分配中具有显著优势,以手术室竞价模型为例,各临床科室根据自身需求和对手术室的评估,参与竞价,出价最高的科室获得手术室的使用权,从而确保稀缺资源能够得到最优利用。

2.3 AI干预效率边际差异分析

2.3.1 不同规模系统对比

不同规模的医疗机构在资源调度复杂度和病种结构等方面存在差异,对AI干预效率的影响也不尽相同。三级医院规模较大,科室设置齐全,患者流量大,资源调度复杂度高,AI技术的应用能够更好地发挥其优势,解决复杂资源分配问题;而社区卫生中心规模较小,服务范围相对局限,资源调度相对简单,AI技术的应用重点在于提升基本医疗服务的效率和质量。专科医院专注于特定疾病的治疗,病种结构单一,AI技术可针对特定病种进行深度优化;综合医院则面临多种疾病的诊疗需求,病种结构复杂,AI技术需要具备更强的通用性和适应性。

2.3.2 效率提升量化评估

运用数据包络分析(DEA)模型对某省12家医院AI介入前后的技术效率变化进行测算,通过比较投入产出效率,直观地评估AI技术对医院运营效率的提升作用。同时,进行成本收益分析,计算智慧运营系统的投资回收期,为医院决策提供经济层面的参考依据。

2.3.3 协同效应实证研究

通过实证研究验证AI技术在医疗运营中的协同效应。医技

检查预约系统的实施,能够合理安排患者的检查时间,减少患者等待时间;手术室智能排程系统的应用,可以优化手术安排顺序,缩短接台间隙时间,提高手术室的利用效率,进一步提升整体医疗服务效能。

3 医疗系统韧性评估与风险对冲机制研究

3.1 系统韧性概念框架构建

医疗系统韧性是保障医疗服务在面临各类内外部冲击时仍能维持基本功能、快速恢复并持续改进的能力^[5]。基于此构建韧性三要素模型,吸收能力是基础,通过冗余资源储备策略,如储备一定数量的备用医疗设备、药品及医护人员等,增强系统对突发事件的承受力;恢复能力是关键,设计快速重组机制,在冲击发生后能迅速调整资源配置、业务流程等,使系统尽快恢复正常运行;适应能力是核心,构建学习进化系统,从每次冲击事件中总结经验教训,不断优化系统结构和运行模式,提升应对未来风险的能力。建立评估指标体系,结构韧性采用网络拓扑分析,通过节点度分布、聚类系数等指标衡量系统网络的连接紧密程度和稳定性;过程韧性运用故障传播模型,基于贝叶斯网络分析风险传导路径,识别系统中的薄弱环节;结果韧性以服务连续性指标衡量,关注关键业务中断时长,全面评估系统韧性水平。

3.2 智慧运营架构支撑作用

智慧运营架构为医疗系统韧性提升提供有力支撑。在系统瓶颈识别方面,数字孪生压力测试可模拟极端场景下的资源承载力,提前发现潜在瓶颈;基于排队论的科室负荷评估计算瓶颈指数,精准定位影响系统运行的关键科室。资源缺口预警系统通过设定多级预警阈值,明确黄色、橙色、红色预警标准,及时发出资源短缺信号;动态缓冲策略运用安全库存水平调整模型,根据实际需求灵活调整资源储备量,确保资源供应的稳定性。自动化恢复方案中,构建应急预案知识库,涵盖132种常见故障处理流程,为应急处理提供标准化指导;智能决策树在资源重分配中应用,将决策路径压缩至3层,提高决策效率,实现资源的快速合理调配。

3.3 韧性提升实证研究

实证研究表明智慧运营架构对医疗系统韧性提升效果显著。在恢复周期缩短方面,某医院信息系统故障恢复时间在AI介入前需8.2小时,介入后缩短至3.1小时;疫情期间门诊量恢复

曲线呈现V型反弹特征,通过量化分析可清晰地看到服务恢复速度加快。抗冲击能力增强方面,极端天气下应急供电系统表现优异,柴油发电机启动成功率达100%,保障了医疗设备的正常运行;在药品供应链中断时,备用供应商激活时效小于2小时,有效避免了药品短缺对医疗服务的影响。持续改进机制上,引入韧性成熟度模型,适配CMMI框架,对系统韧性水平进行分级评估和持续改进;PDCA循环在运营优化中广泛应用,某院制定季度改进项目清单,通过计划、执行、检查、处理四个环节的不断循环,推动医疗系统韧性持续提升。

4 结束语

本研究围绕医疗系统智慧运营展开多维探索,通过构建关键资源动态平衡模型、多智能体协调模型,并开展AI干预效率边际差异分析,实现了多维资源配置效率的有效建模与量化评估;基于韧性三要素模型与评估指标体系,结合智慧运营架构的支撑作用,完成了医疗系统韧性评估与风险对冲机制研究。实证结果表明,相关模型与机制在提升资源利用效率、缩短系统恢复周期、增强抗冲击能力等方面成效显著。展望未来,随着人工智能、大数据等技术的持续创新,医疗系统智慧运营将向更精细化、智能化方向发展。可进一步深化多源数据融合应用,优化模型算法,强化跨机构协同合作,以更好地应对复杂多变的医疗环境,为患者提供更优质、高效、安全的医疗服务。

[参考文献]

- [1]徐杨,昌盛,刘玉燕,等.智慧医院数字化转型实施路径探索与实践[J].中国卫生信息管理杂志,2025,22(06):952-959+968.
- [2]杨静.智慧医疗背景下医院内部控制信息化建设研究[J].中国管理信息化,2025,28(16):73-75.
- [3]推动智慧医疗建设促进医疗卫生资源配置实现均衡[N].贵州政协报,2022-10-13(003).
- [4]王亚峰.基于信息技术的智慧医疗管理策略分析[J].电子技术,2024,53(12):407-409.
- [5]马建勋.城市智慧医疗发展趋势研究[J].无线互联科技,2021,18(03):11-12.

作者简介:

陈冰(1979—),男,汉族,上海人,本科,药剂师,医疗及健康管理。