

基于平行医疗系统的医院运营优化

谢欣照¹, 俞怡², 吴子怡¹, 王可欣¹, 吕昕怡¹, 王静³, 王雨桐³, 林懿伦², 王飞跃³, 陈彦^{1,4,5,6}

- (1. 南京医科大学医政学院, 江苏 南京 211166;
2. 上海人工智能实验室, 上海 200232;
3. 中国科学院自动化研究所, 北京 100190;
4. 苏州市立医院, 南京医科大学附属苏州医院, 江苏 苏州 215000;
5. 江苏省健康研究院, 江苏 南京 211166;
6. 南京医科大学姑苏学院, 江苏 苏州 211166)

摘要: 在数字化浪潮中, 为了应对医疗资源配置不平衡问题, 满足医院管理优化的需求, 亟须引入数字化和平行智能技术。平行医疗系统能够利用人工智能方法, 充分发挥数据价值, 通过虚实互动来优化解决方案。该系统由分布式可信数据库、医疗操作系统、医疗场景工程和医疗大模型组成, 通过数据的收集和流通, 强化数据赋能, 从而促进医院运营的跨维度优化。为了更好地展现数据在医院运营中的价值, 基于平行医疗系统提出了量化数据价值的方法, 并借助数值实验进行展示。实验结果表明, 平行医疗系统可以提升医院社会效益47.45%、经济效益13.82%和运行效率21.90%, 为决策者提供全局视野。

关键词: 平行系统; 平行医疗; 医院运营

中图分类号: R197

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.202406

Optimization of hospital operation based on parallel healthcare systems

XIE Xinzha¹, YU Yi², WU Ziyi¹, WANG Kexin¹, LYU Xinyi¹, WANG Jing³, WANG Yutong³,
LIN Yilun², WANG Fei-Yue³, CHEN Yan^{1,4,5,6}

1. School of Health Policy & Management, Nanjing Medical University, Nanjing 211166, China
2. Shanghai Artificial Intelligence Laboratory, Shanghai 200232, China
3. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
4. The Affiliated Suzhou Hospital of Nanjing Medical University, Suzhou Municipal Hospital, Suzhou 215000, China
5. Jiangsu Provincial Institute of Health, Nanjing 211166, China
6. Gusu School Nanjing Medical University, Suzhou 211166, China

Abstract: In the wave of digitization, the introduction of digital and parallel intelligence technologies was crucial to responding to the imbalance in the allocation of medical resources and the need for optimization of hospital management.

收稿日期: 2024-01-08; 修回日期: 2024-03-02

通信作者: 陈彦, chenyardoc@163.com; 王飞跃, feiyue.wang@ia.ac.cn

基金项目: 江苏省医院协会医院管理创新研究重点课题 (No.JSYGY-3-2023-384); 江苏省研究生科研创新计划 (No.KYCX23_1902); 健康江苏研究院2022年度决策咨询培育课题 (No.JX102C20160020); 2021年研究生优质教育资源建设项目: 公共危机与应急管理 (No.2021B016); 科技创新2030—“新一代人工智能”重大项目 (No.2022ZD0160104)

Foundation Items: Jiangsu Province Hospital Association Hospital Management Innovation Research Key Issues (No.JSYGY-3-2023-384), Jiangsu Province Graduate Student Research and Innovation Program (No.KYCX23_1902), Jiangsu Provincial Institute of Health 2022 Decision-making Consultation Cultivation Topics (No.JX102C20160020), 2021 Graduate Quality Education Resource Building Program: Public Crisis and Emergency Management (No.2021B016), The National Key Research and Development Program of China (No. 2022ZD0160104)

Parallel healthcare systems can fully leverage the value of data with the help of artificial intelligence methods and optimize the solution through the interaction between reality and virtuality. The system comprised the distributed and trustworthy database, medicine-oriented operating system, medicine-oriented scenario system, and medicine-oriented large models, which enhanced data empowerment through data collection and circulation, thus facilitating trans-dimensional optimization of hospital operations. To better demonstrate the value of data in hospital operations, a method to quantify the value of data was proposed based on parallel healthcare systems and demonstrated with the help of a numerical experiment. The experimental results showed that parallel healthcare systems can effectively improve the hospital's social benefit by 47.45%, economic benefit by 13.82%, and operational efficiency by 21.90%, providing a global vision for decision-makers.

Key words: parallel system, parallel healthcare, hospital operation

0 引言

医疗机构是现代城市基础设施的重要组成部分，其运行效率和均衡性影响公众生命安全和身体健康。然而，医疗资源的有限性致使医疗服务供需存在不均衡现象。例如，三甲医院患者数量较多，就诊、检查、取药等流程均需排队等候，浪费了患者大部分时间，降低了就医体验。供需的不均衡，同时也给医院运营带来巨大压力。医院需要提高资源配置使用效益，获得可持续发展力，向高质量发展进步^[1]。

近年来，数字技术和人工智能（artificial intelligence, AI）决策模型被广泛应用，推动了医疗卫生领域的发展。例如，临床决策支持系统（clinical decision support system, CDSS）和其他AI决策模型已经在优化诊疗流程、药物推荐和资源配置上发挥重大作用^[2-3]。然而，目前仍存在一些关键问题未解决。一方面，现有AI辅助医疗模型缺乏全局视角和跨域协同的能力，只能完成特定医疗流程或任务。另一方面，目前医院数字化发展程度不高，尚未充分利用数据潜在价值。

平行医疗系统为优化医疗的资源配置、解决供需不平衡问题提供了新的优化路径和方案。王飞跃教授建立的平行医学理论体系^[4-5]，通过建立与实际医疗系统相对应的虚拟医疗系统，实现了对实际医疗系统的精确描述、预测和引导，是基于虚实互动的代表性方法之一。平行医疗系统的核心在于将医疗资源需求从传统的时间和空间维度，转移到以知识和效率为核心的维度，通过模拟与现实的动态交互，拓展解决方案的可能性，在优化决策过程的同时，实现资源的高效配置。在此基础上，虚拟医疗系统成为医生的重要辅助工具，通过深度分析庞

大的医疗数据，提供更加精确的诊断和治疗建议，辅助医生进行临床决策，从而为患者定制个性化的诊疗计划，显著地提升了诊疗效率和效果。平行医学理论的应用和实践已经涵盖了平行手术室^[6]、平行麻醉^[7]、平行痛风^[8]等多个医疗领域，显示出其广泛的适用性和实用价值。以平行理论为基础，结合AI方法和虚实互动的医疗服务模式，不仅可以解决现有的供需不匹配问题，还能在更广泛的层面上提升医疗系统的整体效率和响应速度，为公众提供更快速、更个性化的医疗服务，同时提高医疗系统的整体效能。

本文旨在探讨平行医疗系统的构建方法和在医院运营管理中的应用与潜在价值。本文将详细介绍如何通过数字技术、AI、平行理论和去中心化自治组织（decentralized autonomous organization, DAO）构建平行医疗系统，并以医院运营为场景，展示其数据赋能和跨维度优化的能力，通过数值仿真实验证明平行医疗系统不仅能够提高医院运营效率，还能在更广泛的层面上平衡医疗资源的利用。

1 国内外研究现状

1.1 医疗卫生领域的数字化发展

在数智化转型、数字赋能的时代，数字技术为医疗领域带来了新的发展方向。医院信息系统（hospital information system, HIS）是当前医疗领域常用的信息系统，能够促进医院高效运转^[9]。除此之外，电子病历系统（electronic medical record system, EMR）、临床信息系统（clinical information system, CIS）等作为医疗系统信息化的重要组成部分，也推动了医疗行业的进步。数字化、信息化的浪潮为数字赋能带来了新的可能，数字技术在治疗诊断方面发挥着重要的作用。AI对疾病做

出的诊断和识别,能够相当甚至超越专家的判断水平^[10-11]。AI的融入,将医疗发展推向新的未来。特别是在COVID-19流行期间,AI作为筛查和诊断工具发挥了其巨大的潜力,实现了诊断、预防和监测^[12]。此外,数字技术和医疗的融合促进了基于互联网的在线医疗快速发展。在线医疗的形式推动了医疗资源的合理配置^[13]。在资源有限的地区,远程医疗跨越地理、时间维度为患者带来了获得健康的机会^[14-15]。不仅如此,借助数字技术,医院的资源规划和配置得到改善,促进了运营的精准化^[16]。

1.2 平行系统

近年来平行系统的提出为社会发展创造一种新视角。平行系统是指由自然的现实系统和对应的一个或多个虚拟的人工系统所组成的共同系统,ACP是其最核心的方法,包含:人工社会(artificial societies, A)、计算实验(computational experiments, C)、平行执行(parallel execution, P)3个部分^[17-18],主要通过构建人工社会,进行计算实验分析,利用真实和人工系统的平行执行来实现管理的优化^[19]。目前平行系统已被广泛应用在交通、制造、医疗等领域,为实际运行提供了科学的决策建议。例如,在交通领域,基于ACP方法能够测试和制定轨道交通系统的应急管理策略^[20];能够对自动与非自动驾驶车辆实现有效管理^[21]。在工业工程领域,对制造服务生态系统构建基于平行系统理论的研究框架,并根据实验结果证实ACP方法的可靠性^[22]。平行医疗已经广泛应用在众多医疗场景^[23-25],基于平行系统和ACP方法分析患者病情,利用计算实验评估治疗方案,能够实现对疾病诊断和治疗的准确预测与指导^[26-29]。

1.3 人工智能技术

AI算法模型的蓬勃发展为决策制定提供了新手段和思路。AI可以基于大量的数据计算总结规律,进而发现人类不易察觉的趋势^[30]。在管理决策方面,通过收集、分析数据,AI能够优化高铁运营^[31]、指导市场数据交易定价^[32]、对员工生命周期管理做出贡献^[33]、有效制定绩效分类方案^[34]、预测卫生人员的工作时间、优化招聘战略规划^[35]。在成本控制决策方面,基于AI的时间序列预测,能够开发模型,促进库存管理,降低供应链流程成本^[36];借助AI算法模型能够提出具有成本效益的供应链的解决方案,帮助高层管理者进行决策^[37]。

综上所述,应用在不同领域的数字技术已经彰显出巨大潜力。随着数字化工具和手段的不断丰富、AI技术的飞跃发展,医院数字化管理进入新阶段有了新的希望。随着时代发展,医院为适应外部复杂环境进行不断调整的同时,也亟须高效地处理院内大量数据和信息。结合平行系统构建AI模型,能够为医疗机构运营管理提供决策的预先展示,可以为提升效率提供科学指导。

2 平行医疗系统的框架、组成和方案

平行医疗系统由分布式可信数据库、医疗操作系统、医疗场景工程和医疗大模型构成。

2.1 平行医疗系统框架

平行医疗系统框架如图1所示。分布式可信数据库是整个系统的基础,其通过数据价值的流通连接平行医疗系统的所有组成部分。医疗操作系统是高效协调和无缝互动的支柱,是系统与实际参与者之间的网关。医疗场景工程在将复杂任务分解为可实现的场景和流程方面发挥着至关重要的作用,并为所有医疗任务建立了强大的工作流程。医疗大模型支撑医疗操作系统和医疗场景工程运行,同时利用二者生成的数据和记录不断进行训练。在平行医疗系统中,数据的收集、流通和赋能促进了跨维度优化。

2.2 分布式可信数据库

分布式可信数据库是整个系统的基础,它推动平行医疗系统进行数据收集、驱动、知识持久化和跨维度优化,以解决医疗系统问题,平行医疗系统的数据流通如图2所示。

2.2.1 数字化与数据价值流通

数字化带来平行医疗系统反映现实活动的可能性,在平行医疗系统中,可以通过数据流通和赋能,基于分布式可信数据库进行预测、模拟和控制,具体步骤如下^[25]:(1)从医疗操作系统中的参与者和设备收集数据,并将其整合到分布式可信数据库中;(2)从分布式可信数据库中提取有价值的信息,以支持数据驱动的医疗大模型的训练;(3)医疗大模型为医疗场景工程提供决策支持,通过模拟测试调整策略;(4)医疗场景工程将有效的知识传递给分布式可信数据库,供未来使用;(5)分布式可信数据库向医疗操作系统提供所需的支持,比如跨维度优化。

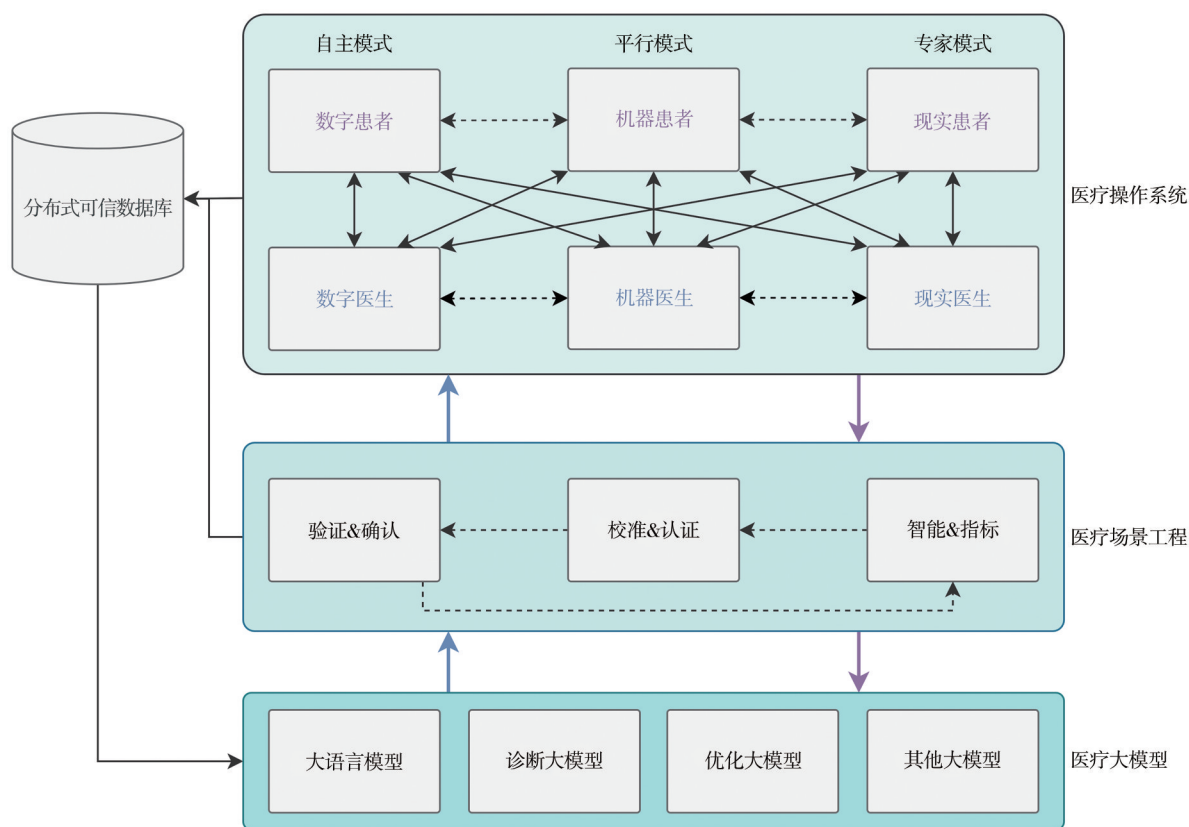


图1 平行医疗系统框架

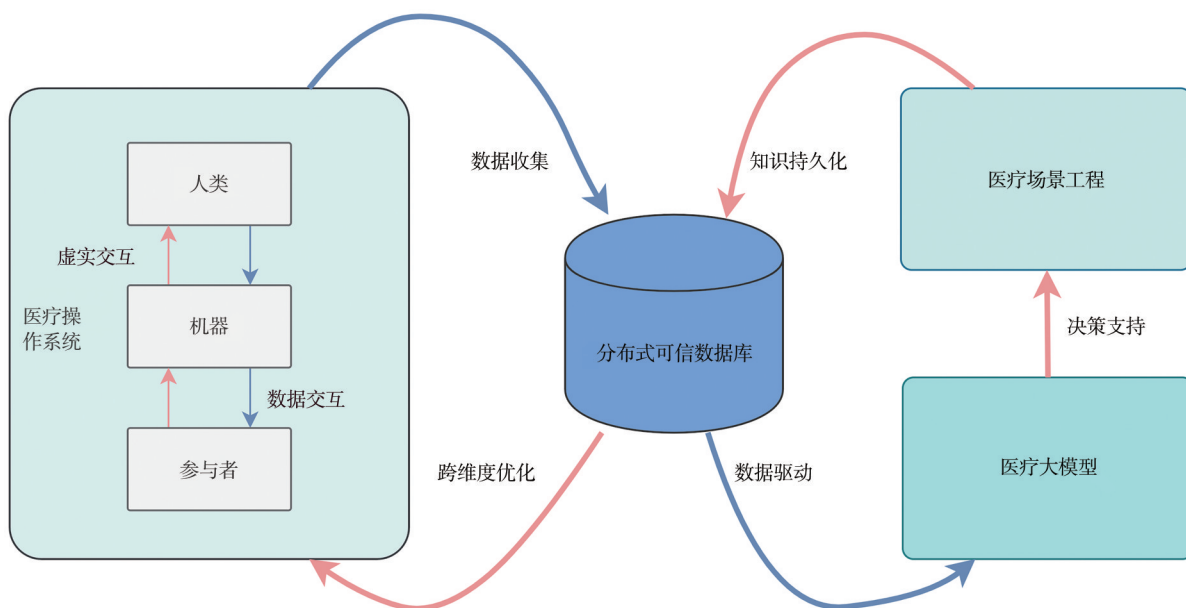


图2 平行医疗系统的数据流通

2.2.2 数据价值及其量化方法

在平行医疗系统中，通过数据收集、流通和赋能，将时间或空间的医疗资源需求转化为基于知识的资源需求来实现数据价值。这种转化避免了资源冲突，实现了数据的价值。

根据信息论，数据价值体现在不确定性和信息熵 $H(X)$ 的降低上。例如，收集患者信息、诊断结果、治疗方案等数据，可以评估 $H(X)$ 降低时医疗资源的状况。此外，随着数据的增多，平行医疗系统的信息熵 $H(X)$ 也会随着不确定性的降低而

降低:

$$H(X_{\text{after}}) < H(X_{\text{before}}) \quad (1)$$

本文通过评估数据在平行医疗系统中的贡献来量化数据价值。以医疗资源配置为例,假设一家医院有 n 种医疗供给 $S=s_1, s_2, \dots, s_n$; 有 k 种医疗需求 $D=d_1, d_2, \dots, d_k$ 。在没有数据支持的情况下,配置策略 π 可能是随机的。有了数据,通过对患者具体需求的建模和预测,策略 π^* 可以更精确、合理。医院的效用函数可计算为:

$$U_{\pi} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \pi_{ij} \cdot u_{ij} \quad (2)$$

满足:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \pi_{ij} = 1, \forall i \in \{1, 2, \dots, k\} \\ \sum_{i=1}^k \pi_{ij} \leq s_j, \forall j \in \{1, 2, \dots, n\} \end{cases}$$

其中, π_{ij} 代表将医疗供给 s_j 配置给需求 d_i 的概率, u_{ij} 代表将供给 s_j 配置给需求 d_i 时的目标值。并且必须满足约束条件。

依据数据支持,能找到最优资源配置策略 π^* 。数据价值 V 可以定义为不同配置策略之间的效用之差:

$$V = U_{\pi^*} - U_{\pi} \quad (3)$$

2.3 医疗操作系统

医疗操作系统是平行医疗系统的支柱,通过收集数据进行动态交互,促进患者和医生之间的无缝互动。利用 AI 技术,医疗操作系统实现了医生和患者的虚拟化、并发通信和知识延续,扩展了平行医疗系统的行动空间,医疗操作系统中虚拟化、并发性和持续性的作用如图3所示。

(1) 虚拟化: 医疗操作系统中的医疗过程可以转变为虚拟化形式。医疗操作系统可以收集、整合

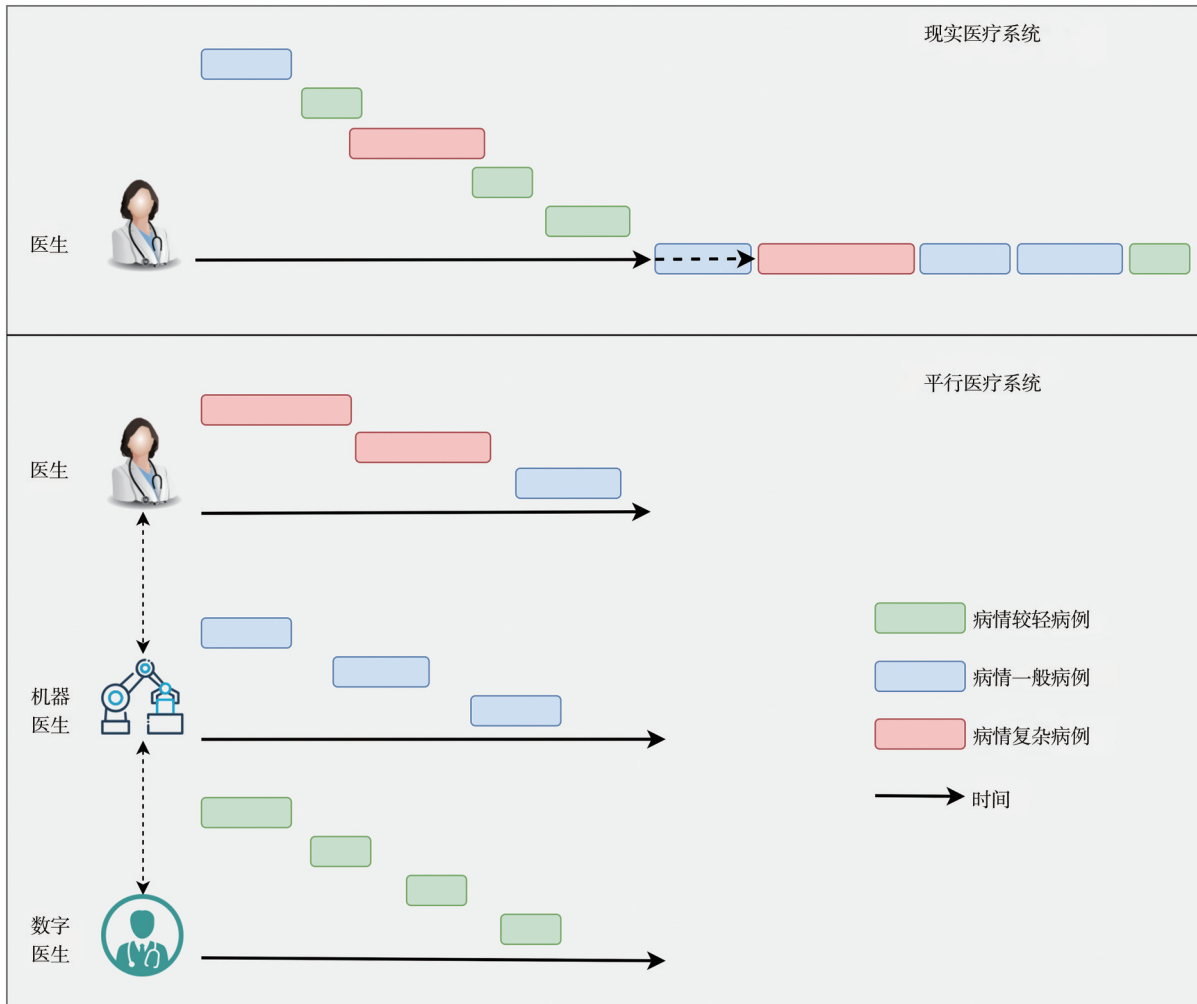


图3 医疗操作系统中虚拟化、并发性和持续性的作用

和分析大量医疗数据，通过与平行医疗系统中的其他部分协作，建立患者和医生数字画像。此外，医疗操作系统还提供基于数字画像的自动和异步方法。

(2) 并发性：通过医疗操作系统，医患双方可以跨时空互动，拓展现有医疗资源不均衡问题的行动空间和解决空间，为跨维度优化铺平道路。一方面，医疗操作系统运用AI技术获取患者需求。另一方面，医疗操作系统根据这些需求自动、异步、并发地提供支持。

(3) 持续性：医疗操作系统从分布式可信数据库（包括医学文献和病历）中以数字化方式持续提取大量专家知识和经验，通过智能组织和管理，为决策和诊断过程提供强有力的支持。

医疗操作系统的特点增强了医疗服务的效率和灵活性，通过3种不同的模式实现需求获取和供给提供的功能：自主模式（autonomous mode, AM）、平行模式（parallel mode, PM）和专家模式（expert mode, EM）。在自主模式下，医疗操作系统基于预定义的目标和约束条件，自主获取医疗需求并提供医疗供给，促进高效、自主的资源配置。在平行模式下，医疗操作系统通过AI与人类医生合作的协作方法，加强决策并提高诊断和治疗质量。在专家模式下，医疗操作系统通过整合创新算法，使专家能够分析复杂的医疗需求并完善资源配置。作为平行医疗系统的重要组成部分，医疗操作系统的开发结合AM、PM和EM模式，为更高效、可持续的医疗资源配置奠定了基础。

2.4 医疗场景工程

为了有效应对医疗系统中的各种情况，医疗场景工程发挥了至关重要的作用^[38]。医疗场景工程将复杂的任务分解为可实现的场景和流程，确保符合预定义的标准。通过设计和验证这些场景，医疗场景工程建立了一个强大的资源配置和优化框架^[38-40]。

(1) 智能与指标：医疗场景工程可以从患者的偏好、历史和实时数据中匹配符合个人需求和系统要求的情景和智能化方法，根据优化目标构建评价指标。

(2) 校准与认证：医疗场景工程可以设计和开发算法和模型，根据抽象的场景进行校准和认证，以适应不同的医疗环境。

(3) 验证与确认：为了验证其能力和可行性，

医疗场景工程采用了来自医疗大模型真实或模拟的数据和场景。验证和确认得出的结果可用于修正，从而保证策略在实际应用中的准确性。

2.5 医疗大模型

医疗大模型包含医疗系统的综合表征，融合了分布式可信数据库中的大量数据、行为模式和领域知识。以大语言模型、诊断大模型和优化大模型为例，这些大模型是基于医疗操作系统和医疗场景工程生成的分布式可信数据库聚合数据训练而成。通过不断学习和完善，医疗大模型可提高适应性和响应能力。

(1) 大语言模型：大语言模型可通过自然语言处理和机器学习技术捕捉医疗系统错综复杂的动态变化^[41-42]。通过这种方式，它将患者与医生之间的交流从“黑盒（人类）—黑盒”互动转变为“白盒（大语言模型）—黑盒”互动^[43]。大语言模型还能有效整合多个数据源，其特征在于累积值函数的高初始斜率。在新的通信形式下，大语言模型可以利用历史数据，提供实时响应，并整合来自其他医疗大模型的多个数据源，从一开始就实现高效通信，最终提高医疗资源配置效率，如图4所示。

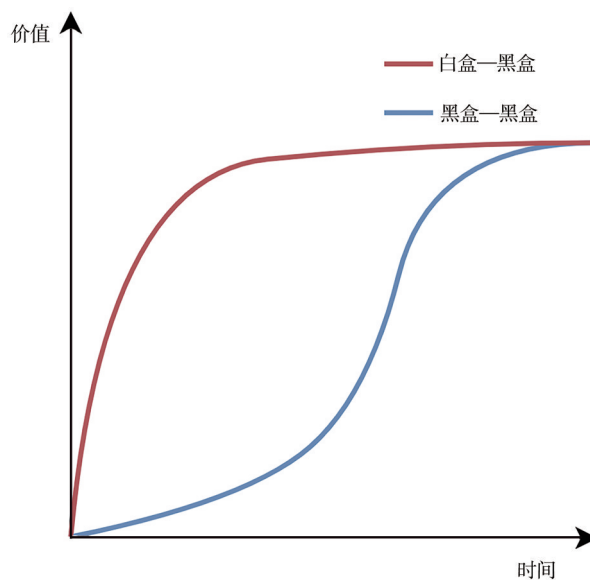


图4 对话中的累积价值函数曲线

(2) 诊断大模型：诊断大模型有助于补充供给、明确需求，通过整合分布式可信数据库中的各种知识，打破医疗卫生领域与其他领域之间的壁垒。诊断大模型可以分析和识别数据中的模式和相

关性, 提供诊断支持。

(3) 优化大模型: 优化大模型的潜力在于通过机器学习、深度学习和相关的AI技术来处理和分折医疗资源的供需关系, 从而提高资源配置能力^[44]。例如, Transformer、激励机制等相关模型可以自动优化资源调度模式^[32]。

3 医院运营场景中的跨维度优化

通过建立平行医疗系统, 可以实现更多数据的收集并赋能, 这不仅降低了系统的不确定性, 也扩大了优化问题的解空间, 如上文和图3所示。在更大的解空间中, 可以利用数据驱动的AI模型找到更好的解决方案, 从而实现医疗系统的跨维度优化。本节将以医院运营为例, 说明一个优化场景。

(1) 医院运营的目标函数: 考虑到医院运营有多个目标, 本文将优化目标概括为3个方面: 运行效率、经济效益和社会效益。运行效率包括医务人员的工作量以及医院设施的使用情况; 经济效益是指提供医疗服务所获得的收入, 可以从门诊、体检、检查等方面计算; 社会效益是指医院提供优质服务和治疗疑难危重疾病的能力, 可以从患者等待时间、治愈率、疾病诊断相关分组(diagnosis related groups, DRG)入组率、四级手术数量、疑难病症诊治、科研能力等方面计算。基于这3个方面, 本文提出了医院运营场景下的目标函数:

$$J = \alpha \cdot \varepsilon(a) + \beta \cdot \iota(a) + \sigma \cdot \omega(a) \quad (4)$$

其中 $\varepsilon(a)$ 、 $\iota(a)$ 和 $\omega(a)$ 表明了采取 a 运行的运行效率、经济效益和社会效益。

(2) 跨维度优化模型: 如上所述, 通过数据赋能来扩展解空间。以 S 为原解空间维度, 通过构建平行医疗系统来数据赋能, 可以将 S 扩展为 S' 。 S 中的最优解为:

$$\pi^* = \arg \max_{x \in S} J(x) \quad (5)$$

高维解空间 S' 中的最优解为:

$$\pi'^* = \arg \max_{x \in S'} J(x) \quad (6)$$

在机器学习中, 数据越多越能提高模型的准确性、概括性等性能。同样, 对于平行医疗系统中的优化问题, 数据越多解空间越大, 方案也会得到改善, 也就是 $\pi'^* \geq \pi^*$ 。因此, 在平行医疗系统中应用数据驱动的AI模型可以实现医疗系统的跨维度

优化, 即 $J(\pi'^*) > J(\pi^*)$ 。平行医疗系统中的数据价值可量化为 $V = J(\pi'^*) - J(\pi^*)$ 。

4 数值实验

在平行医疗系统中, 每个参与者都会逐渐了解绩效考核机制, 并不断调整自己的动作与状态空间使得效益最大化, 达到绩效最优解。然而, 个体最优解的总和往往不一定是全局最优解。另外, 医院在进行多院区开办的过程中, 院内绩效考核机制与运营管理决策也在不断更新迭代。因此需要不断利用双层强化学习优化运营机制, 同时促进公平和提升效率, 最终实现个体、医院整体的双赢。通过在S医院的现场调研, 发现患者就医过程和医院运营的实际情况非常复杂, 故采用数值实验的方式验证上述方法的实用性和效果。

4.1 实验设置

本文通过设计数值实验来模拟医院环境中患者的流动和医疗资源利用情况, 以此分析平行医疗系统对医院运营的跨维度优化。实验考虑了多个关键参数, 其中设置患者400位、提供医疗服务的医生10位、用于进一步检查的检查室7间。考虑到患者到达医院的不确定性, 使患者到达时间服从泊松分布, 如图5所示。在费用方面, 设置平均诊察费用12元/人, 代表患者就诊产生的费用; 设置平均检查费用150元/人, 代表经医生诊断患者需要进一步检查而产生的费用, 其中设置患者需要进一步检查的概率为60%。另外, 设置诊断、检查的时间服从正态分布, 平均值分别为6分钟和30分钟, 实验运行时间为1天。

基于上述条件, 设计对照组及实验组。1) 对

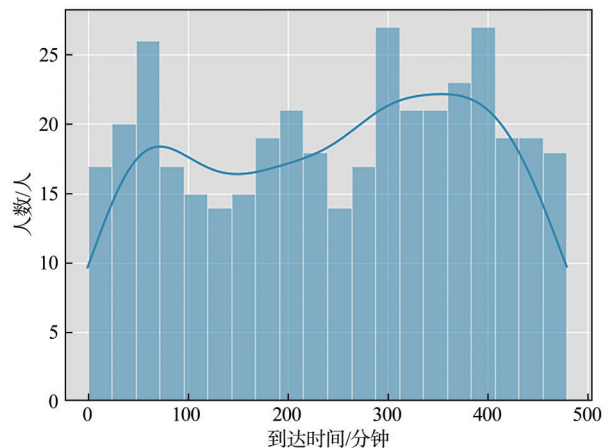


图5 患者到达时间分布

照组：无动作空间扩展（即医生只进行线下问诊），无排班优化。2）实验组A：动作空间扩展（医生进行线下看诊的同时，充分利用空闲时间线上问诊），无排班优化。3）实验组B：无动作空间扩展，排班优化。4）实验组C：动作空间扩展，排班优化。为了更好地评价实验效果，本文从社会效益、经济效益、运行效率3个角度选取指标进行阐述。其中将患者平均等待时间作为社会效益指标；医院收入作为经济效益指标；医生、检查室工作时间占总时间的百分比作为运行效率指标。

4.2 实验结果

在平行医疗系统中借助医疗操作系统将现有数据进行收集处理，基于算法和目标函数进行数值实验计算，结果如表1、图6~图8所示。对照组患者平均等待时间为179.67分钟，医院收入为18 324元，医生和检查室工作时间占比分别为62.16%、87.25%。根据表1和表2结果显示，A组经过动作空间扩展，患者平均等待时间为111.73分钟，社会效益提升37.81%，医院收入为19 896元，经济效益提升8.58%，医生和检查室工作时间占比分别为78.30%、89.95%，运行效率提高14.53%；B组经过排班优化，患者平均等待时间为125.46分钟，社会效益提升30.17%，医院收入为20 082元，经

济效益提升9.59%，医生和检查室工作时间占比分别为65.48%、96.38%，运行效率提高7.90%；C组经过动作空间扩展和排班优化，患者平均等待时间为94.41分钟，社会效益提升47.45%，医院收入为20 856元，经济效益提升13.82%，医生和检查室工作时间占比分别为81.58%、98.21%，运行效率提高21.90%。综合来看，C组在平衡社会效益、经济效益和运行效率3个方面效果最好。

表1 对照组及实验组结果

对比项	患者平均等待时间/分钟	医院收入/元	医生工作时间占比/%	检查室工作时间占比/%
对照组	179.67	18 324	62.16	87.25
A组	111.73	19 896	78.30	89.95
B组	125.46	20 082	65.48	96.38
C组	94.41	20 856	81.58	98.21

5 结论与未来展望

平行医疗系统能够借助AI和数字技术，构建虚拟系统，通过在平行系统中提前展示决策结果，减少了现实试错成本，借助数据运算科学性地得出决策最优方案。在大数据的支持下，平行医疗系统的发展，可以在一定程度上提高患者病情诊断的准确性、拓展管理决策者的全局视野，推动医疗领域

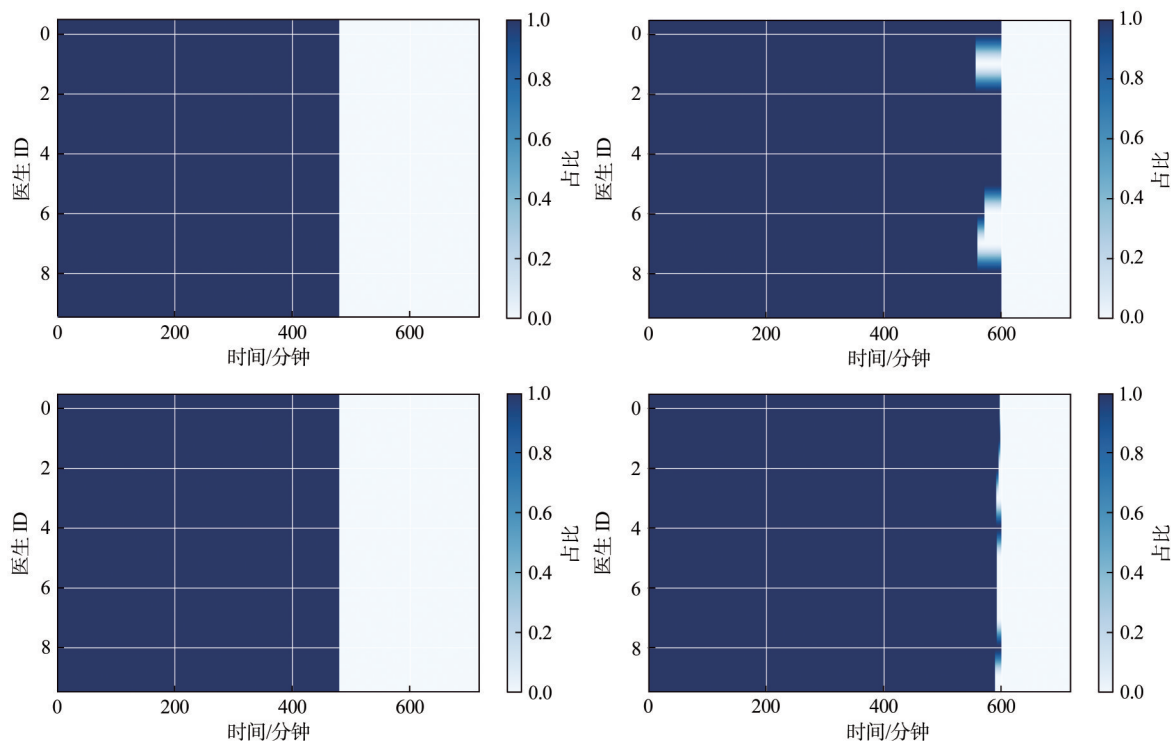


图6 医生排班结果

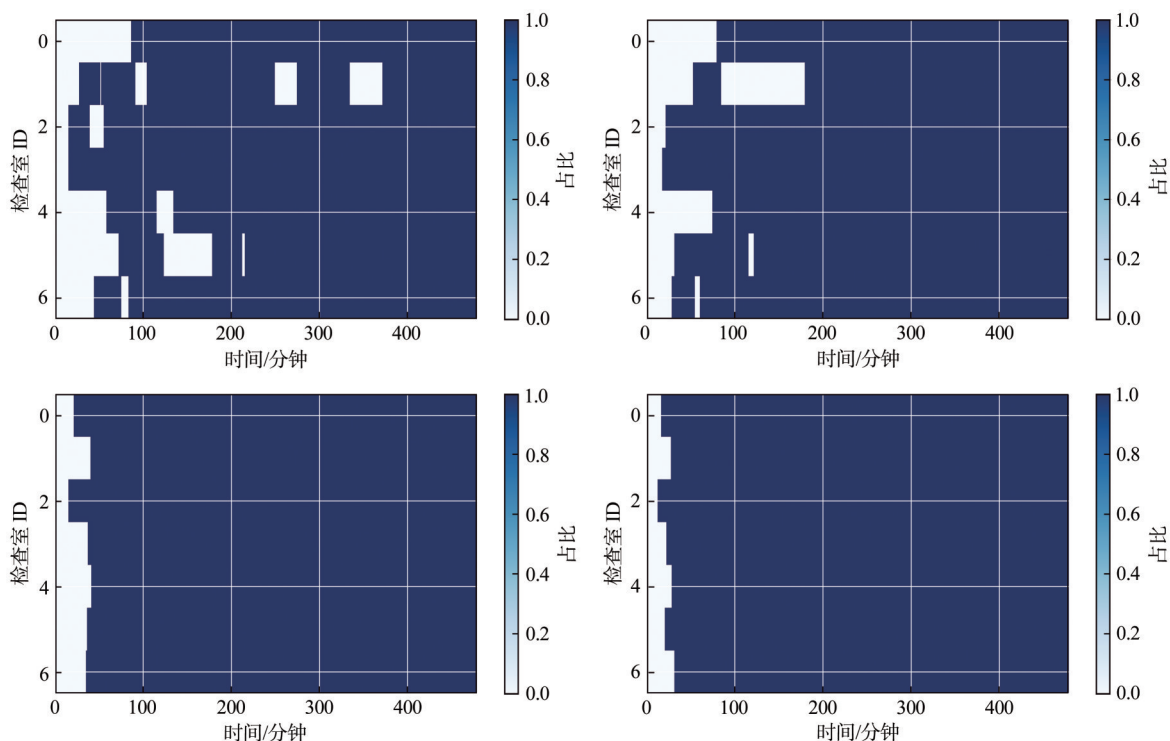


图7 检查室排班结果

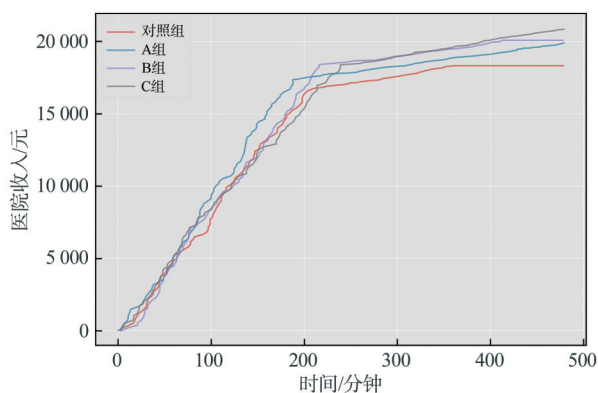


图8 医院收入变化曲线

表2 各实验组改进效果分析

对比项	社会效益改善值/%	经济效益改善值/%	运行效率改善值/%
A组	37.81	8.58	14.53
B组	30.17	9.59	7.90
C组	47.45	13.82	21.90

的进步发展。

本文探讨了平行医疗系统在医院运营管理中的优化作用,通过数据赋能为医院的运营提供新视角。借助平行医疗系统,本文设计了一个数值实验,实验结果证实,平行医疗系统能够对优化医院社会效益、经济效益和运行效率的不同方案进行结果演示,帮助管理者进行最佳选择,从而促进院内医疗

资源的优化配置,实现医院运营的跨维度优化。

但研究仍需继续进行,本文将医院中患者的行为简约化,而现实情况下,医院的环境比较复杂。例如,不同级别专家诊察费设立标准不同、患者在不同科室进行检查的情况也不同、不同类型科室的医生诊疗行为也不同。不仅如此,除医生外,医院还存在护理、行政等多类型的岗位,不同岗位的绩效机制也存在不同。因此,未来平行医疗系统还需在医院运营领域继续深入研究,借助数字化力量,助力医院持续并高质量地发展。

参考文献:

- [1] 支帅蔚,邓勇.新形势下公立医院运营管理问题分析与对策探讨[J]. 中国医院, 2023, 27(5): 1-4.
ZHI S W, DENG Y. Discussion on the analysis of problems and countermeasures in the operation and management of public hospitals under new circumstances[J]. Chinese Hospitals, 2023, 27(5): 1-4.
- [2] IADANZA E. Clinical engineering handbook (second edition) [M]. London: Academic Press, 2020: 556-568.
- [3] PRANAV R, EMMA C, OISHI B, et al. AI in health and medicine[J]. Nature Medicine, 2022, 28(1): 31-38.
- [4] 王飞跃. 平行医学:从医学的温度到智慧的医学[J]. 智能科学与技术学报, 2021, 3(1): 1-9.
WANG F Y. Parallel medicine: from warmth of medicare to medicine of smartness[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2021, 3(1): 1-9.
- [5] 王飞跃. 平行医生与平行医院:ChatGPT与通用人工智能技术对未

- 来医疗的冲击与展望[J]. 协和医学杂志, 2023, 14(4): 673-679.
- WANG F Y. Parallel doctors and parallel hospitals: impact and perspective of ChatGPT-like AIGC and AGI on medicine and medicare[J]. Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital, 2023, 14(4): 673-679.
- [6] 王惠珍, 张捷, 俞怡, 等. 平行手术室: 围术期护理流程与智慧手术平台管理的新模式[J]. 模式识别与人工智能, 2023, 36(10): 867-876.
- WANG H Z, ZHANG J, YU Y, et al. Parallel operating rooms: a new model of perioperative nursing process and smart surgical platform management[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2023, 36(10): 867-876.
- [7] 赵毅飞, 申乐, 叶佩军, 等. 平行麻醉: 从麻醉自动化走向智慧型全周期麻醉平台[J]. 智能科学与技术学报, 2023, 5(2): 234-246.
- ZHAO Y F, SHEN L, YE P J, et al. Parallel anesthesia: from anesthesia automation to intelligent full-cycle anesthesia platform[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2023, 5(2): 234-246.
- [8] 王飞跃, 李长贵, 国元元, 等. 平行高特: 基于 ACP 的平行痛风诊疗系统框架[J]. 模式识别与人工智能, 2017, 30(12): 1057-1068.
- WANG F Y, LI C G, GUO Y Y, et al. Parallel gout: an ACP-based system framework for gout diagnosis and treatment[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2017, 30(12): 1057-1068.
- [9] JAHANPOUR A, YOUSEF M, AFSANEH K, et al. Security, confidentiality, privacy and patient safety in the hospital information systems from the users' perspective: a cross-sectional study[J]. International Journal of Medical Informatics, 2023, 175: 105066.
- [10] GULSHAN V, PENG L, CORAM M, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs[J]. JAMA, 2016, 316(22): 2402-2410.
- [11] KAPLAN A, HAENLEIN M. Siri, Siri, in my hand: who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence[J]. Business Horizons, 2019, 62(1): 15-25.
- [12] 欧阳丽炜, 袁勇, 郑心湖, 等. 基于区块链的传染病监测与预警技术[J]. 智能科学与技术学报, 2020, 2(2): 135-143.
- OUYANG L W, YUAN Y, ZHENG X H, et al. A novel blockchain-based surveillance and early-warning technology for infectious diseases[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2020, 2(2): 135-143.
- [13] YE Q, DENG Z H, CHEN Y Y, et al. How resource scarcity and accessibility affect patients' usage of mobile health in China: Resource competition perspective[J]. JMIR mHealth and uHealth, 2019, 7(8): e13491.
- [14] PATRICK P N, PAOLA W, M E W, et al. Designing an integrated, nurse-driven and home-based digital intervention to improve insulin management in under-resourced settings[J]. Therapeutic Advances in Endocrinology and Metabolism, 2021, 12: 20420188211054688.
- [15] ANTONIOS P, THEOFANIS V, EVAGGELIA K, et al. Old-age mental telehealth services at primary healthcare centers in low- resource areas in Greece: design, iterative development and single-site pilot study findings[J]. BMC Health Services Research, 2023, 23(1): 626.
- [16] DANIEL G, REMA P. E-HOSPITAL - a digital workbench for hospital operations and services planning using information technology and algebraic languages[J]. Studies in Health Technology and Informatics, 2017, 245: 84-88.
- [17] 王飞跃. 平行系统方法与复杂系统的管理和控制[J]. 控制与决策, 2004, 19(5): 485-489, 514.
- WANG F Y. Parallel system methods for management and control of complex systems[J]. Control and Decision, 2004, 19(5): 485-489, 514.
- [18] WANG F, WANG X, LI L, et al. Steps toward parallel intelligence[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2016, 3(4): 345-348.
- [19] WANG F Y. Parallel control and management for intelligent transportation systems: concepts, architectures, and applications[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(3): 630-638.
- [20] LIN Y L, HU W, CHEN X, et al. City 5.0: towards spatial symbiotic intelligence via DAOs and parallel systems[J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2023, 8(7): 3767-3770.
- [21] YU J, YU Y, YAO S, et al. RoW-based Parallel control for mixed traffic scenario: a case study on lane-changing[C]//Proceedings of 2023 IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Bilbao: IEEE Press, 2023: 5397-5402.
- [22] XUE X, GUO Y, CHEN S, et al. Analysis and controlling of manufacturing service ecosystem: a research framework based on the parallel system theory[J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2019, 14(6): 1598-1611.
- [23] WANG K X, YAO S, WU Z, et al. Boosting intelligent diagnostic process in Internet hospital: a conversational-AI-enhanced framework[C]//Proceedings of 2023 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). Hawaii: IEEE Press, 2023: 4040-4045.
- [24] LV X, YU Y, XIE X, et al. Optimize the accessibility of healthcare facilities via ACP-based approach[C]// Proceedings of 2023 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). Hawaii: IEEE Press, 2023: 4034-4039.
- [25] YU Y, YAO S, WANG K, et al. Pursuing equilibrium of medical resources via data empowerment in parallel healthcare system[C]//Proceedings of 2023 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). Hawaii: IEEE Press, 2023: 3186-3191.
- [26] WANG S, WANG J, WANG X, et al. Blockchain-powered parallel healthcare systems based on the ACP approach[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2018, 5(4): 942-950.
- [27] WANG F Y, WONG P K. Intelligent systems and technology for integrative and predictive medicine: An ACP approach[J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST), 2013, 4(2): 1-6.
- [28] 张梅, 陈鸽, 王飞跃, 等. 平行胃肠: 基于 ACP 的智能胃肠疾病诊疗[J]. 模式识别与人工智能, 2019, 32(12): 1061-1071.
- ZHANG M, CHEN L, WANG F Y, et al. Parallel gastrointestinal: an acp-based approach for intelligent operations[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2019, 32(12): 1061-1071.
- [29] 王飞跃, 苟超, 王建功, 等. 平行皮肤: 基于视觉的皮肤病分析框架[J]. 模式识别与人工智能, 2019, 32(7): 577-588.
- WANG F Y, GOU C, WANG J G, et al. Parallel skin: a vision-based dermatological analysis framework[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2019, 32(7): 577-588.
- [30] 俞怡, 曾佳棋, 王殿海. 基于数据采样方法的道路自由流行程时间估计[J]. 浙江大学学报(工学版), 2022, 56(6): 1241-1248.
- YU Y, ZENG J Q, WANG D H. Free-flow travel time estimation in urban roads based on data sampling method[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2022, 56(6): 1241-1248.
- [31] ZENG J Q, WANG D H, ZHANG G Z, et al. Passenger-to-car assignment optimization model for high-speed railway with risk of COVID-19 transmission consideration[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021: 7121010.
- [32] YU Y, YAO S, LI J, et al. SWDPM: a social welfare-optimized data pricing mechanism[C]//Proceedings of 2023 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). Piscataway: IEEE Press, 2023: 2900-2906.

- [33] NOSRATABADI S, ZAHED R K, PONKRATOV V V, et al. Artificial Intelligence models and employee lifecycle management: a systematic literature review[J]. Organizacija, 2022, 55(3): 181-198.
- [34] PATEL K, SHETH K, MEHTA D, et al. RanKer: an AI-based employee-performance classification scheme to rank and identify low performers[J]. Mathematics, 2022, 10(19): 3714.
- [35] MOYO S, DOAN T N, YUN J A, et al. Application of machine learning models in predicting length of stay among healthcare workers in underserved communities in South Africa[J]. Human Resources for Health, 2018, 16(1): 1-9.
- [36] PRAVEEN U, FARNAZ G, HATIM G. Inventory management and cost reduction of supply chain processes using AI based time-series forecasting and ANN modeling[J]. Procedia Manufacturing, 2019, 38: 256-263.
- [37] HELO P, HAO Y. Artificial intelligence in operations management and supply chain management: an exploratory case study[J]. Production Planning & Control, 2022, 33(16): 1573-1590.
- [38] LI X, TIAN Y, YE P, et al. A novel scenarios engineering methodology for foundation models in metaverse[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2022, 53(4): 2148-2159.
- [39] LI X, YE P, LI J, et al. From features engineering to scenarios engineering for trustworthy AI: I&I, C&C, and V&V[J]. IEEE Intelligent Systems, 2022, 37(4): 18-26.
- [40] CHANG C, CAO D, CHEN L, et al. Metascenario: a framework for driving scenario data description, storage and indexing[J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2022, 8(2): 1156-1175.
- [41] WANG F Y, LI J, QIN R, et al. Chatgpt for computational social systems: from conversational applications to human-oriented operating systems[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2023, 10(2): 414-425.
- [42] WANG F Y, MIAO Q, LI X, et al. What does ChatGPT say: the DAO from algorithmic intelligence to linguistic intelligence[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2023, 10(3): 575-579.
- [43] RAJ PRABHU N, RAMAN C, HUNG H. Defining and quantifying conversation quality in spontaneous interactions[C]//Proceedings of Companion Publication of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction. New York: ACM, 2020: 196-205.
- [44] LI X, ZHANG J, BIAN J, et al. A cooperative multi-agent reinforcement learning framework for resource balancing in complex logistics network[EB]. arXiv preprint, 2019, arXiv: 1903.00714.

[作者简介]



谢欣照 (2000-), 女, 南京医科大学医政学院硕士生, 主要研究方向为医院管理、应急管理。



俞怡 (1995-), 女, 博士, 上海人工智能实验室青年研究员, 主要研究方向为数据要素化、激励机制设计、智能交通系统。



吴子怡 (1999-), 女, 南京医科大学医政学院硕士生, 主要研究方向为医院管理、应急管理。



王可欣 (1999-), 女, 南京医科大学医政学院硕士生, 主要研究方向为医院管理、应急管理。



吕昕怡 (2000-), 女, 南京医科大学医政学院硕士生, 主要研究方向为医院管理、应急管理。



王静 (1992-), 男, 中国科学院自动化研究所工程师, 主要研究方向为平行医疗理论与方法、智慧医疗系统的构建与应用。



王雨桐 (1994-), 女, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室助理研究员, 主要研究方向为计算机视觉、图像异常检测。



林懿伦 (1989-), 男, 博士, 上海人工智能实验室青年科学家、PI, 主要研究方向为社会计算、城市计算、智能交通系统、深度学习、强化学习、隐私计算。



王飞跃，(1961-)，男，博士，中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室主任，主要研究方向为平行系统的方法与应用、社会计算、平行智能、知识自动化。



陈彦 (1974-)，男，医学博士，南京医科大学急诊医学博士生导师、公共管理硕士生导师、南京医科大学附属苏州医院党委副书记、院长，主要研究方向医院管理、突发事件卫生应急管理、心血管疾病、急诊医学等。