

医疗流程模拟提升医疗规划设计的应用综述

唐睿文

中国中元国际工程有限公司 北京 100080

摘要: 本文通过对国内外研究文献与应用成果的整合, 综述了医疗流程模拟技术在医疗规划设计中的应用及其潜力。医疗流程模拟有助于提升医疗规划的合理性和医疗质量, 优化资源利用率, 节约成本, 并增强医院在紧急情况下的应对能力。随着人工智能和机器学习等新技术的融合, 未来的医疗流程模拟将更加智能化和个性化, 为医疗资源优化提供更精确的决策支持。

关键词: 医疗资源优化; 离散事件模拟; 仿真模拟; 医疗流程模拟; 资源配置; 医疗服务效率

引言

医疗资源是指对伤病患者提供医疗服务过程中涉及各要素的总称。在医疗资源有限的前提下, 医院若对医疗配置及救治流程设置不合理, 易导致医疗资源利用率下降, 影响患者就医体验, 引发医患关系紧张, 甚至造成社会负面影响。^[1]为优化医疗资源配置及利用, 提高患者救治效率和及时率, 仿真建模技术显示出在医疗领域对规划设计和运行管理提升的巨大潜力。借助仿真建模技术进行医疗流程模拟, 医疗相关人员和研究人员可抽象模拟医疗资源在现实中的应用, 并真实、有效、可靠的反应真实状况, 实现医疗资源的优化配置。本文综合国内外研究与应用成果, 对医疗流程模拟在医疗规划设计中的应用进行综述, 并对其未来的发展提出思辨与展望。

1. 医疗流程模拟

医疗流程模拟是指使用模拟技术来模拟医疗过程, 针对医疗系统进行系统建模, 在计算机上模拟医疗过程中的各个阶段和步骤, 并统计和分析模拟结果, 用以指导实际医疗系统的规划设计与运作管理。医疗流程模拟是设计师、分析师、管理者及各医护人员对操作、流程、系统方案进行试验、评估、以及视觉化的工具。

1.1 系统仿真技术概述

系统仿真是针对真实系统建立相关模型, 用模型替代真实系统来进行各种试验, 从而进行系统性能研究的方法。成功的系统仿真模型能直接或间接地反复模拟真实系统的各种静、动态活动, 记录动态过程的瞬间状况, 并提供研究分析系统所需的数据, 使人们通过分析模型, 了解并把握系

统运行的本质规律。^[2]

1.2 离散事件模拟仿真方法

按系统仿真模型的类型来划分, 系统仿真可分为连续系统仿真、离散事件系统仿真、连续与离散混合系统仿真和定性系统仿真。离散事件模拟 (Discrete Event Simulation, 缩写 DES) 的系统仿真是根据事件在离散的时间点上变化的规律, 来预测系统变化的方法。医疗工艺设计基于医院内的流程展开, 医疗流程模拟本质上是离散事件模拟的一种应用场景。应用离散事件模拟的系统仿真方法进行医疗流程模拟的研究是切实可行的一种方法。

2. 医疗流程模拟的目的和意义

模拟医疗流程可以帮助相关人员了解整个医疗过程, 发现并解决潜在的问题, 提供更好的医疗服务。其目的和意义具体可体现在以下几方面:

2.1 提升医疗规划合理性

通过模拟医疗流程, 可以发现医院内部布局的不合理, 如就诊流程行走距离过长, 电梯等待时间和队列过长, 医院内部物流 (药品流) 方案不合理等问题。在医疗规划布局优化后, 可通过模拟医疗流程验证提升的效率和水平, 从而量化医疗流程并提升其合理性。

2.2 提高医疗质量

医疗机构通常具有如患者挂号号源紧张、候诊时间长、取药排队、就医过程繁杂等问题, 模拟医疗流程可以帮助医疗专业人员了解整个医疗过程, 并找到提高医疗质量和效率的机会。通过优化流程, 可以减少不必要的延迟、错误和资源浪费, 提高病人的治疗体验和结果。

2.3 优化医疗资源的利用率

医院在运营过程中通常会遇到医疗设备利用率不高,某些设备、设施闲置,而另一些设施(如病床等)又严重不足等情况。另一方面,医护人员也面临工作不均,护士排班不合理等问题。通过模拟医疗流程,可以将设备和医护人员进行精细化管理,从而提高医院医疗资源的利用率,减少资源浪费和资源负荷过载的情况。

2.4 节约医院运行成本

通过模拟医疗流程,可以识别和消除不必要的步骤和过程,进而可以节约成本并提高效率,使医疗机构更加经济高效。

2.5 强化紧急情况下的医院韧性

在面对突发疾病、突发传染病等重大灾害时整个医疗系统的韧性是医院在运营中关注的重点。通过医疗流程模拟,医院可对各方面指标的承载力进行测试和预测,并发现短板与瓶颈,从而采取相应策略,提升医院在突发事件下的抗压能力。

3. 医疗流程模拟的发展综述

自 20 世纪 50 年代以来,离散事件模拟已被应用于不同领域,如制造业、供应链管理、军事领域、计算机和网络设计,甚至投票系统等。随着计算机性能的不断发展和复杂的系统建模可以在计算性能更强的计算机上实现,离散事件模拟也进一步突出它的效用和能力。

DES 第一次应用于医疗保健研究在 1981 年,在此之后,应用离散事件模拟的研究方法对医疗系统进行研究成为了越来越热门的课题,国际上相关的论文发表也逐年增加:1993 到 1997 年相关的论文共有 28 篇,2003 到 2007 年相关的论文数量已增长到 62 篇^[3],而在近五年,2017 到 2021 年,相关论文总发表数量已经达到了 311 篇^[4]。

以研究地点与应用领域为划分标准,离散事件模拟在医疗领域的研究可分为五类:第一类是医院,作为主要的医疗保健提供场所,医院是最复杂也是被研究最多的,在医院的大类下,各类特殊科室也常被单独拿出来做为研究对象,包括手术科、影像科、重症监护科、护理单元、门诊单元等;第二类是急救中心或急诊科,急诊科相当于是医院的一个子集,也通常意义上相当于一个小医院,但与一般医院相比,急诊科的随机需求较高,同时也存在专门的急救中心,故通常将其单独作为一类调查;第三类是诊所及体检中心;第四

类是医疗系统供应链的分析,如医院内部的物流系统等;第五类是卫生保健模式对当地环境及人口的作用估计。

以研究目的为划分标准,离散事件模拟在医疗领域的研究可分为两类:第一类是对医疗保健干预的研究,即主要比较不同医疗保健服务的成本对患者健康的影响,例如:疾病进展管理,研究人口健康,着眼于不同护理途径与治疗的长期影响关系;健康筛查方案,用以研究引导人群进入不同护理途径的有效策略;健康行为建模,研究由个人生活方式选择与疾病发生或加剧的关系,以及其如何进一步影响人口健康。第二类是医疗保健系统运营,类似于传统的制造运营管理,涉及到资源利用、调度、容量规划和系统诊断等问题,此种研究与医疗规划设计领域关联紧密,其研究成果主要有以下方面:

借助 DES 重新设计患者流程减少等待时间。相关案例有 Zamani(2022)通过 DES 的研究提出,对急诊科布局增加一个等待结果的房间,这使患者的停留时间减少 32%^[5]。Suhaimi 等人(2018)利用 DES 探讨了两个门诊中心的中层医师资源共享的影响,结果显示,患者在房间等待的时间提高了 6%,然而整体的停留时间降低了 4%^[6]。

对建筑空间和房间数量等进行比对优化规划设计,优化资源分配。相关案例有 Rohleder 等人(2007)的研究表明,将 18 至 25 个小型机构的患者服务中心整合为大型服务中心可以提高资源利用率,并将患者等待时间保持在 20 分钟以内^[7]。Cai 和 Jia(2019)的研究针对某医学中心在初步设计中的门诊进行仿真,根据不同的患者数量场景评估检查室的数量评估,调查结果显示,即使在门诊高峰期,也有 25% 的诊室没有被利用^[8]。Santibáñez 等人(2009)分析了在多种诊室组合中操作、调度和资源分配对患者等待时间、诊所加班和资源利用的影响,模拟场景表明,诊室单元的相互配置和医生之间共用检查室将所需的检查室数量减少了 22.3%^[9]。

借助 DES 改善工作人员的调度,确定合适的人员配置水平。相关案例有:徐靖(2009)以某三甲医院麻醉科手术室为研究对象建立调度仿真模型,进行病例调度的研究,对手术室病例调度的不同策略进行仿真,并对其系统指标和成本进行比较,分析各手术室调度策略的优劣^[2]。Pewzer 和 Carr 等人(2019)同样在建筑实践中对手术中心规划与效率进行了研究,通过提出不同场景和策略,确定手术科扩建与否以及扩建规模。

离散事件模拟是医院、设计师和规划人员的有效决策工具，用于告知关键的设计和规划决策，如空间需求、相邻条件、空间利用结果以及资源分配等。随着科技的进步与发展，离散事件模拟在医疗领域的应用也在不断拓展它自身的边界。例如借助工业 4.0 和数字孪生的概念，Decision Lab (2022) 试图对医院进行数字孪生的半模拟，以在动态过程中为医院寻找更好的医疗资源配置。同时虚拟现实技术的发展也让医疗流程模拟的呈现结果以三维动态的形式呈现出来，并提供更加逼真的感受和反馈。随着人工智能和机器学习等技术的引进，未来，离散事件模拟在医疗流程上的应用将与新技术新理念相结合，模拟的数据来源会更加精确，模拟本身会更加智能化、自适应和个性化。

4. 研究总结

通过对国内外医疗流程模拟的研究综述，众多案例表明仿真建模技术能够显著提升医疗规划的合理性，研究具有定量数据化的说服力，能够给予使用者瓶颈挖掘、优化设计、流程预演和数据分析等多维度的思考，对于提高医疗质量，优化医疗资源的利用率，节约医院运行成本，并强化紧急情况下的医院韧性有着很好的助力作用。此外，研究还发现，随着科技的进步，离散事件模拟在医疗领域的应用将更加广泛，结合新技术如人工智能和机器学习，模拟将更加精确和智能化。

尽管研究取得了一定的成果，医疗流程模拟的普适性和可转移性仍需要进一步验证。未来的研究可以探索更多类型的医疗流程和场景，考虑更多的变量和因素，以提高模型的复杂性和适应性。

参考文献：

[1] 鹿国伟, 陶学强, 段德光, 李昊, 张泽瑞, & 陈恩. (2022). Anylogic 仿真平台在医疗资源优化领域的研究进展. 中国医学装备 2022 年 19 卷 2 期, 191-194 页, ISTIC.

[2] 徐靖. (2010). 基于 FlexsimHC 的手术室资源利用率和成本最优化研究. (Doctoral dissertation, 天津大学).

[3] Thorwarth, M., & Arisha, A. (2009). Application of discrete-event simulation in health care: a review.

[4] Forbus, J. J., & Berleant, D. (2022). Discrete-Event Simulation in Healthcare Settings: A Review. *Modelling*, 3(4), 417-433.

[5] Zamani, Z. (2022). Leveraging discrete event simulation modeling to evaluate design and process improvements of an emergency department. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 3(3), 397-408.

[6] Suhaimi, N., Vahdat, V., & Griffin, J. (2018, December). Building a flexible simulation model for modeling multiple outpatient orthopedic clinics. In 2018 Winter Simulation Conference (WSC) (pp. 2612-2623). IEEE.

[7] Rohleder, T. R., Bischak, D. P., & Baskin, L. B. (2007). Modeling patient service centers with simulation and system dynamics. *Health care management science*, 10, 1-12.

[8] Cai, H., & Jia, J. (2019). Using discrete event simulation (DES) to support performance-driven healthcare design. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 12(3), 89-106.

[9] Santibañez, P., Chow, V. S., French, J., Puterman, M. L., & Tyldesley, S. (2009). Reducing patient wait times and improving resource utilization at British Columbia Cancer Agency's ambulatory care unit through simulation. *Health care management science*, 12, 392-407.

作者简介：

唐睿文(1994-), 男, 硕士研究生, 工程师, 中国中元国际工程有限公司医疗建筑设计研究院医疗研究所建筑师。