

健康推荐系统研究进展与展望*

王婧婷^{1,2} 董小兰² 金天² 袁长蓉²

(¹ 海军军医大学护理系 上海 200433 ² 复旦大学护理学院 上海 200032)

[摘要] 目的/意义 探究健康推荐系统的研究进展, 为医护人员构建健康推荐系统、助力智能化健康照护提供参考。方法/过程 采用文献调研法, 总结常用推荐技术及健康推荐系统在健康照护领域的应用, 探讨其研究现状和发展方向。结果/结论 该系统在健康服务推荐、饮食推荐、健康行为促进、疾病预后特征与健康风险预测、慢性病管理、心理健康促进和用药推荐相关领域有所应用, 其研究有利于智能化健康照护发展。

[关键词] 健康推荐系统; 推荐技术; 知识图谱; 用户画像

[中图分类号] R-058 **[文献标识码]** A **[DOI]** 10.3969/j.issn.1673-6036.2024.01.012

Research Progress and Future Prospect of Health Recommender System

WANG Jingting^{1,2}, DONG Xiaolan², JIN Tian², YUAN Changrong²

¹School of Nursing, The Naval Medical University, Shanghai 200433, China; ²School of Nursing, Fudan University, Shanghai 200032, China

[Abstract] **Purpose/Significance** To explore the research progress of health recommender system (HRS), so as to provide references for medical personnel to build HRS to help intelligent health care. **Method/Process** The application of common recommendation technology and HRS in the field of health care is summarized by literature research, and the research status and development direction of HRS is discussed. **Result/Conclusion** HRS has been applied in health service recommendation, diet recommendation, health behavior promotion, disease prognosis characteristics and health risk prediction, chronic disease management, mental health promotion and medication recommendation, and the related research is conducive to the development of intelligent health care.

[Keywords] health recommender system; recommendation technique; knowledge graph; user portrait

[修回日期] 2023-11-06

[作者简介] 王婧婷, 博士, 副教授, 发表论文 31 篇; 通信作者: 袁长蓉。

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目 (项目编号: 72374204); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (项目编号: 71904195); 中国博士后科学基金第 68 批面上项目 (项目编号: 2020M681188)。

1 引言

随着互联网、信息技术和大数据分析技术的发展, 推荐系统 (recommender system, RS) 已经渗透到日常生活中, 并被广泛应用于电子商务、大规模零售业和各种知识管理^[1]。RS 根据用户特征、推荐项目特征, 借助推荐算法自动挖掘用户个性化需求, 使用户和项目之间自动产生联系, 从而推荐满足用户偏好、匹配度高的个性化项目^[2]。在信息技术和医疗照护相结合的趋势下, 健康推荐系统

(health recommender system, HRS) 成为科研和实践创新的增长点。目前,国内尚无针对 HRS 的相关综述,仅有个别针对单个 HRS 设计开发的研究。本研究阐述 HRS 应用进展,以期为医护人员构建 HRS 助力智能化健康照护发展提供参考。

2 HRS 简介

HRS 是 RS 在医疗领域的应用,主要推荐用户感兴趣、公开、科学的或被普遍接受的医学信息。为构建更为精准且实用的 HRS,需考虑用户、项目和使用环境 3 大要素^[3]。HRS 终端用户包括健康人群、患者和医护专业人员,基于用户健康状况相关信息匹配适合用户的项目。项目指用户正在寻找的元素,HRS 可以为不同用户提供推荐建议,如向健康人群或患者推荐符合其需求的体育活动、健康生活方式信息和资源,向医护人员推荐患者诊断、治疗方案或药物等。项目、用户及其之间关系在使用环境中交互,如利尿剂和降压药虽有助于高血压患者降压,但糖尿病或痛风患者服用可能有危险。患有同样疾病的患者健康状况可能不同,对一位患者有效的治疗可能不适于其他患者,因此 HRS 需考虑使用环境相关因素。

3 HRS 推荐技术

3.1 基于内容的过滤

基于内容的过滤 (content-based filtering, CB) 认为与用户既往感兴趣的项目属性信息相类似的项目,该用户也可能感兴趣,CB 为用户推荐符合喜好的信息,可解释性强^[4]。在 HRS 中,基于内容的过滤推荐适合患者健康/疾病状况的医疗保健服务,与患者既往接受的医疗保健服务类似^[5]。

3.2 协同过滤

协同过滤 (collaborative filtering, CF) 认为拥有相同兴趣爱好的用户品味相似^[6]。基于 CF 为患者推荐有相似健康/疾病状况的患者使用的医疗保健服务^[5]。

3.3 基于关联规则的推荐

通过发现用户与项目、用户与用户、项目与项目之间存在的隐性或显性关联关系进行推荐^[5]。如在帮助非母语护士进行护理记录书写时,基于关联规则的推荐系统可自动提供可选词汇和项目^[7]。

3.4 基于知识图谱的推荐

知识图谱是一种基于图的知识表示和组织方法,将不同种类信息连接构成网状结构知识体系,是从关系的角度理解分析事物的方法,可解释性较强,在推荐系统中的应用逐渐增多^[8-9]。如基于罕见病及专家融合型知识图谱可以实现罕见病就医决策推荐,为患者推荐最佳就医路径,提高罕见病患者就医效率^[10]。

3.5 混合推荐

混合推荐将多种推荐技术结合起来,利用一种推荐技术的优点修正另一种推荐技术的缺点^[11]。例如,CF 通常面临冷启动问题,而 CB 可以解决这个问题,可以将 CB 与 CF 进行多种不同顺序与层次的混合,以实现更精准的推荐^[11]。同时,也可以根据 HRS 设计中的实际需求,融入其他推荐技术。

4 HRS 在健康照护领域的应用

4.1 健康服务推荐

4.1.1 健康体检服务推荐 定期健康体检是疾病预防控制的有效途径之一,主要面向没有主观症状的人群,帮助其尽可能早地发现不易察觉的疾病或者疾病隐患。张红玉等^[12]构建包括调查问卷模块、风险预测模块、套餐推荐模块的体检套餐推荐系统,根据个体健康风险,结合专家建议的健康隐患对应体检项目清单推荐体检套餐,还可以根据健康风险、价位要求进行优化推荐,在满足个体健康体检需求的情况下尽量节省成本。

4.1.2 就诊场所推荐 患者一般倾向于就近就诊,尽量避免过长时间的等待,且对不同诊所和医生的偏好也不同。为了使患者能够便捷、迅速地比

较多个诊所, Chen T^[13] 提出一个诊所推荐系统, 患者通过智能手机发送请求, 系统服务器会根据智能手机内的全球定位系统, 判断患者的速度, 然后依据“不等待、最短路径、对诊所的偏好、对医生的偏好”4 个标准向患者推荐诊所, 有效缩短患者等待时间, 也平衡了诊所接诊负荷。

4.1.3 诊疗医生推荐 在社区初级保健中, 选择一名与患者就诊需求匹配的医生至关重要。Han Q 等^[14] 采用混合推荐系统, 为患者提供家庭医生推荐名单, 患者可从中选择与其就诊需求匹配的医生。家庭医生的推荐基于大量患者咨询历史数据对家庭医生的信任度进行建模, 同时考虑患者与家庭医生间关系的动态变化, 这种建模方法的预测精度较启发式基线和 CF 方法更高^[14]。Guo L 等^[15] 构建疾病诊疗医生权威排名表推荐系统, 收集了 2 381 750 名中国医生的个人简历、科技论文、科研基金、演讲报告、媒体曝光等信息数据, 并以其作为排名特征, 形成医生权威排名表, 用户搜索疾病名称即可获得系统为其推荐的诊疗医生权威排名表。

以上 3 类应用 HRS 健康服务的共同点在于个体可选择空间较大。面对选择做哪些健康体检项目、去哪个诊疗场所、找哪名医生问诊的现实场景, 个体可结合自身健康状况和实际情况作出决策。以上情境为个体留有选择余地的同时, 也带来了面对选择的犹豫和迷茫感。此时, 结合专家建议、基于大数据的预测、患者个体需求特征等要素形成的推荐方案, 能够降低个体的决策难度, 提升决策结果的合理性和科学性, 有助于提升个体在决策中的支持感和整体体验。

4.2 饮食推荐

针对不同营养需求人群进行个性化饮食指导, 帮助其改变不良饮食习惯, 获取适合的饮食方案。祁明思等^[16] 基于知识库管理系统设计医院患者配餐推荐系统, 综合考虑患者的诊断、习惯及喜好等因素, 自动生成配餐方案, 为患者提供个性化营养推荐方案, 指导临床餐食配置, 还可进一步形成食物及食谱计划, 为患者康复提供营养支持。Elsweiler

D 等^[17] 构建自动饮食推荐系统, 确定用户个人营养需求, 并将用户偏好食物与推荐系统中排名前 100 的推荐食谱组合起来, 推荐既满足个人喜好又符合个人营养需求的均衡饮食计划。何金超等^[18] 综合考虑饮食偏好和营养均衡需求, 建立个性化饮食推荐模型, 先通过基于用户偏好的协同过滤算法推荐饮食, 然后用多目标粒子群优化算法对推荐食谱中的各食物含量进行调优, 解决饮食偏好和营养均衡需求问题。

需要饮食推荐的个体常处在饮食控制或饮食限制状态, 如肥胖患者、糖尿病患者等。在较为宽泛的饮食管理原则下, 患者可能出现不知某种食物是否可以吃或不知要吃什么的情况。针对上述问题, 考虑患者疾病特征、饮食习惯和饮食偏好等关键因素, 提供饮食管理的 HRS 有助于患者饮食正确、可口, 满足其营养均衡需求。

4.3 健康行为促进

4.3.1 戒烟 吸烟与许多疾病直接相关, 戒烟是降低吸烟人群健康风险的最有效方式。Hors - Fraile S 等^[19] 设计了移动健康推荐系统 (mhealth recommender system, m - HRS), 以患者电子健康记录中的个人资料为初始数据来源, 为患者推荐定制的戒烟鼓励信息; 分析患者对系统发出信息的反馈和患者与系统的互动数据, 评价推荐信息的治疗效果和患者参与度。Hors - Fraile S 等^[20] 又将 I - Change 行为改变模型应用于算法逻辑, 进一步促进戒烟用户行为改变, 提升了 m - HRS 的戒烟效果。

4.3.2 减肥 超重或肥胖是引发 2 型糖尿病、血脂异常、高血压、癌症等多种疾病的重要危险因素, 科学合理的体重管理是超重或肥胖及相关慢性病防控的基础治疗手段^[21]。Gaspiretti F 等^[22] 基于强化学习范式设计的 HRS, 通过分析可穿戴设备收集的大量信号数据集, 平衡对于减肥用户的长期和短期奖励, 并向用户推荐更有可能产生减肥效果的行为习惯。

HRS 在健康行为促进应用中, 主要基于患者人口学特征和疾病状况, 以及获取的互动、反馈数据或可穿戴设备收集的数据, 分析患者健康管理行为

落实情况,并预测出合适的时间点、患者所需的奖励和鼓励信息,向患者进行推荐,从而促进患者强化健康行为,进而培养健康行为习惯。

4.4 疾病预后特征与健康风险预测

疾病预后特征与健康风险预测是 HRS 的重要功能,要依托疾病数据集,其推荐结果对临床诊疗具有重要意义。Kuanr M 等^[23]采用基于多目标遗传算法的特征选择方法,对宫颈癌风险分类数据集进行分析,构建包含宫颈癌预后最相关特征的 HRS,系统也会推荐一些高准确度的宫颈癌预测模型,促进女性对于宫颈癌的相关风险感知。Nelay A A 等^[24]提出使用 k 近邻算法和关联规则算法的基于内容的推荐系统,可以根据相关数据对重症加强护理病房危重症患者健康结局进行预测或分类,以便医护人员立即采取行动,降低患者死亡率。

疾病预后特征和健康风险预测具有重要临床价值,预测时须融入大量临床诊疗数据,且预测技术与模型相对复杂。HRS 可囊括多来源患者健康数据,并根据患者动态变化的临床诊疗数据对疾病预后和健康结局进行预测,给予医护人员及时、有效的提示,从而提升临床决策效率和准确率。

4.5 慢性病管理

健康教育是提高慢性病患者疾病意识、加强自我管理的重要方法。随着电子化健康宣教的发展,互联网存在大量健康宣教资料,但质量参差不齐,缺乏医学背景的患者很难识别最有价值的信息。Wang Z 等^[25]构建基于知识库的 HRS,根据慢性病患者特征,通过智能手机为其推荐健康宣教信息。知识库内容来源于网络、指南和书籍,并经过多名临床医生审阅,更具科学性。Ati M 等^[26]开发兼具慢性病诊断、治疗方案推荐和健康管理推荐的多功能慢性病管理 HRS,可为医生推荐可能的诊断,经医生审核后,将疾病诊断推送给患者,并为患者推荐相关医疗建议和慢性病管理信息,如治疗、饮食、锻炼、健康宣教等。

在慢性病管理中,HRS 的主要作用是将合适的健康管理信息在合适的时间推荐给合适的患者,推荐规则主要基于患者疾病特征和医护人员的经验。但尚缺乏患者对于被推荐信息的评价和反馈方面的研究,这些评价和反馈应该作用于推荐规则,形成闭环,促进推荐规则优化,从而实现更准确的健康管理信息推荐。

4.6 心理健康促进

抑郁是受全世界关注的心理健康问题,其病因复杂且病程长,患者不易自察。Yang S 等^[27]开发 em-Health 情绪管理推荐系统,可以收集有抑郁倾向用户的情绪数据,通过数据挖掘找到引发抑郁的 5 类主要外部因素,针对不同外部因素为用户提供个性化的推荐、智能决策方案和情绪改善相关建议,以改变用户行为。目前,HRS 在心理健康促进领域的应用还较少。

HRS 在心理健康促进中应用实践主要包括 3 步:患者不佳心理状态数据收集、基于数据挖掘的患者分类、基于患者分类的个性化方案智能推荐。但个性化方案对于患者行为和心理状态的改变效果还要进一步评估,以提升智能推荐准确度。

4.7 用药推荐

用药推荐系统可以对患者的临床用药进行预测,解决医生主观用药和不规范用药等问题。纪亚亮等^[28]运用改进惰性的多标记分类算法,对医院信息系统数据库中抽取的多标记数据集进行训练,开发预测慢性乙型肝炎住院患者临床用药的推荐系统,提升住院患者满意度。张璐等^[29]分析患者的患病历史和相似患者的问诊经历,建立患者症状与用药之间的对应关系,提出一种基于隐性反馈模型与交叉推荐的药物推荐方法,开发癫痫药物系统,帮助医生为患者选择合适的药物。

临床工作中患者病情复杂、药品种类繁多,医生多凭借临床经验开具用药处方。不同临床医生的诊疗经验存在差异,基于大样本临床用药数据的 HRS 可为医生推荐最佳用药方案,有助于减少医生经验不足导致的不规范用药情况。

5 HRS 发展现状与未来展望

5.1 HRS 推荐准确度有待持续提升

在医疗健康领域, HRS 推荐不准确可能会影响用户的生理或心理健康, 甚至导致更严重的后果。因此, HRS 只是辅助决策而不能替代专业决策。为了提高推荐准确度, 一方面, 可以多渠道实时收集用户相关信息, 如与可穿戴设备相连接, 与医院信息系统相联通, 获得更多有价值的实时健康数据; 另一方面, 跨学科专家和数据提供者要相互协助, 提高数据质量, 提供专业意见, 并开发更有针对性的推荐算法, 以持续提升 HRS 推荐精准度。

5.2 高质量、多模态数据有待汇集与挖掘

推荐系统的准确性与使用数据的种类、质量密切相关。Ati M 等^[26]构建的慢性病管理推荐系统融合人口学数据、实验室检查数据和居家日常监测数据(如血压、血糖、体重), 有效提升推荐系统准确性。因此, HSR 的推荐准确性更有赖于覆盖疾病全程的高质量、多模态健康数据, 如医院临床信息系统和护理信息系统中的疾病诊疗数据, 生理实验室数据, 不良反应、并发症等客观数据, 患者一般情况的客观数据, 患者症状困扰、心理状况、生活质量等主观体验数据, 患者在社交平台上的行为数据, 以及基于物联网的可穿戴设备数据等。数据汇集后, 需要根据推荐场景对数据进行清洗、标准化和建模, 深入挖掘数据, 并不断迭代和优化推荐模型, 使其服务于 HRS 的精准推荐。

5.3 创新推荐技术和混合式推荐模式有待发展

CB、CF、基于关联规则的推荐、基于知识图谱的推荐和混合推荐是 HRS 中主要应用的推荐技术。近年来, 用户画像在个性化推荐系统中也有所应用^[30]。用户画像是用户“特征标签”的集合, 具有标签化、时效性、动态性特征, 为构建 HRS 提供了创新思路^[31]。各推荐技术都有其优势、适用的推荐场景和推荐问题, 因此有必要合理、高效融合多种推荐技术形成混合推荐模式, 在发挥各推荐技术

优势的同时, 弥补缺陷, 以实现 HRS 的推荐目标, 提升推荐准确度。

5.4 数据安全性与隐私保护值得关注

实时、连续地收集用户健康数据有助于 HRS 推荐更精准的个性化建议, 但同时也存在数据泄漏风险。HRS 中患者数据一旦泄漏, 将导致患者隐私受到巨大威胁, 也将为患者及其家庭带来潜在威胁。戒烟 m-HRS 从医院电子健康记录自动加载患者个人资料, 所有信息都经过医生审核, 信息获取方式便捷且有效保护患者隐私, 证实 HRS 在安全监督下与医院信息系统相联通的可行性^[19]。应设定严密的数据获得权限等级, 使用更安全的数据存储方式, 并结合区块链等技术确保数据安全。

5.5 HRS 对行为改变的促进作用有待提升

目前, 研究者多关注 HRS 内容的完善、推荐的精准度提升, 却较少关注用户对推荐内容的依从性或推荐系统对用户行为改变的促进能力。例如, 饮食推荐系统为糖尿病患者推荐适合的饮食, 患者是否会按照饮食推荐去进食; 健身系统为肥胖用户推荐适合的运动计划, 用户是否会完成相应的运动计划等。因此, 推荐系统构建中还应考虑一些行为促进因素, 如设立激励制度^[22]或参考一些行为改变模型, 如“我改变”行为改变模型^[20]、计划行为理论^[32]、福格行为模型^[33]等, 以提升 HRS 对目标用户的行为改变能力, 促进用户接受推荐内容并落实行为改变。

5.6 HRS 推荐内容可接受度值得关注

用户对于 HRS 推荐内容的接受度需要考虑, 有些准确的疾病治疗方案可能并非最适合患者, 如过高的救治费用可能会为患者及其家庭带来巨大压力, 甚至引发患者和家属之间的争论; 痛苦的治疗过程可能会使患者无法坚持治疗, 导致治疗效果不理想。因此, HRS 在推荐中不仅要考虑用户的健康/疾病信息, 还要考虑人文、社会信息, 以综合得到优化的推荐方案。

5.7 基于 HRS 的整合性推荐服务有待拓展

公众对健康服务的需求具有长期性、动态性和复杂性的特点,贯穿生命全程。目前,HRS 的功能较单一,如饮食推荐^[16-18],戒烟^[19-20]、减肥^[22]等健康行为促进,心理健康促进^[27],用药推荐^[28-29]等。个别推荐系统具有疾病预后和健康风险预测双重功能^[23],也有融合疾病风险评估和健康专家咨询服务推荐的个性化健康云服务^[34]。因此,深入了解患者疾病全程的典型关键需求,进行整合性推荐,如整合患者疾病风险预测、健康咨询专家推荐、就诊医院推荐、诊疗方案推荐、用药推荐、饮食推荐、心理健康促进方法推荐等,为患者提供全方位服务,将有助于满足患者需求,提升诊疗体验。

5.8 评价指标指导下的 HRS 开发流程优化

目前对 HRS 尚无统一评价指标,在开发全程对 HRS 进行评价可以促进综合质量提升。建议构建 HRS 时招募利益相关人群进行可用性评价,包括形成性可用性评价和总结性可用性评价,以保证 HRS 的可用性。HRS 开发成型后应进行准确性评价,常包括预测评分准确度、预测评分关联性、分类准确度和排序准确度^[35]。邀请目标用户使用 HRS 并进行有效性和满意度评价也极有必要,只有真正有效且使目标用户满意的 HRS 才会被选用。此外,HRS 评价还要考虑其对目标用户行为改变的影响能力,这对其有效性和对目标用户健康结局的改善至关重要。

5.9 HRS 评价方法有待优化

HRS 的评价方法目前主要分为在线评价和离线评价^[36]。在线评价是根据患者在线实时反馈或问卷调查等结果来评价 HRS 的性能,实施成本较高;离线评价主要在实验室完成,评价 HRS 在实验数据集上的表现,缺点在于数据集的稀疏性(即数据集中绝大多数数值缺失或者为零的数据)会限制其适用范围,且评价结果不包含真实用户的主观感受^[36]。针对此问题,可以考虑小流量 AB 测试,即在移动设备端进行小样本量预估大样本量表现的在线评价,此方法与单一的在线评价或离线评价相比,既

保障了数据密度,又可节约成本^[37]。此外,HRS 评价中进行大样本临床试验的研究较少,未来可借助公共卫生系统,开展大规模临床试验,以增加研究结果的准确度和代表性^[38]。

6 结语

本文阐述了 HRS 推荐技术在健康服务推荐、饮食推荐、健康行为促进、疾病预后特征与健康风险预测、慢性病管理、心理健康促进和用药推荐相关领域中的研究和应用现状,探讨了 HRS 有待提升和发展的方向。希望医护人员遇到患者健康管理问题时可以考虑选择 HRS 来解决。选用合适的推荐技术,与技术人员合作开发 HRS 以解决临床问题,提升患者健康管理效果。

利益声明: 所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- 熊贇,朱扬勇,陈志渊. 大数据挖掘 [M]. 上海:上海科学技术出版社,2016.
- RESNICK P, VARIAN H R. Recommender systems [J]. *Communications of the ACM*, 1997, 40 (3): 56-58.
- TRAN T N T, FELFERNIG A, TRATTNER C, et al. Recommender systems in the healthcare domain: state-of-the-art and research issues [J]. *Journal of intelligent information systems*, 2021, 57 (1): 171-201.
- SANCHEZ-BOCANEGRA C L, SANCHEZ-LAGUNA F, SEVILLANO J L. Data mining in clinical medicine [M]. New York: Humana Press, 2015.
- YUE W, WANG Z, ZHANG J, et al. An overview of recommendation techniques and their applications in healthcare [J]. *IEEE/CAA journal of automatica sinica*, 2021, 8 (4): 701-717.
- 刘青文. 基于协同过滤的推荐算法研究 [D]. 合肥:中国科学技术大学,2013.
- HSU M H. Proposing a charting recommender system for second-language nurses [J]. *Expert systems with applications*, 2011, 38 (8): 9281-9286.
- PAULHEIM H. Knowledge graph refinement: a survey of approaches and evaluation methods [J]. *Semantic web*, 2017, 8 (3): 489-508.
- 秦川,祝恒书,庄福振,等. 基于知识图谱的推荐系统研究综述 [J]. *中国科学:信息科学*, 2020, 50 (7): 937-956.

- 10 陈一龙, 卜嘉彬, 李景宇, 等. 基于知识图谱的罕见病就医决策引擎设计研究 [J]. 华西医学, 2021, 36 (12): 1730 - 1733.
- 11 李雪婷, 杨抒, 赛亚热·迪力夏提, 等. 融合内容与协同过滤的混合推荐算法应用研究 [J]. 计算机技术与发展, 2021, 31 (10): 24 - 29.
- 12 张红玉, 李莉, 张光, 等. 基于数据挖掘的体检套餐推荐系统设计及应用 [J]. 信息技术与信息化, 2017 (9): 84 - 86.
- 13 CHEN T. Ubiquitous multicriteria clinic recommendation system [J]. Journal of medical systems, 2016, 40 (5): 1 - 11.
- 14 HAN Q, JI M, DE TROYA I M R, et al. A hybrid recommender system for patient - doctor matchmaking in primary care [C]. Turin: 2018 IEEE 5th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 2018.
- 15 GUO L, JIN B, YAO C, et al. Which doctor to trust: a recommender system for identifying the right doctors [J]. Journal of medical internet research, 2016, 18 (7): e6015.
- 16 祁明思, 陈文烈, 李旦, 等. 基于知识库的患者营养配餐推荐系统设计 [J]. 中国医学装备, 2021, 18 (1): 106 - 109.
- 17 ELSWEILER D, HARVEY M. Towards automatic meal plan recommendations for balanced nutrition [C]. Vienna: The 9th ACM Conference on Recommender Systems, 2015.
- 18 何金超, 罗芳, 袁知才, 等. 协同过滤和粒子群算法在饮食推荐中的应用 [J]. 计算机应用与软件, 2019, 36 (8): 36 - 40.
- 19 HORS - FRAILE S, SCHNEIDER F, FERNANDEZ - LUQUE L, et al. Tailoring motivational health messages for smoking cessation using an mHealth recommender system integrated with an electronic health record: a study protocol [J]. BMC public health, 2018, 18 (1): 1 - 10.
- 20 HORS - FRAILE S, MALWADE S, LUNA - PEREJON F, et al. Opening the black box: explaining the process of basing a health recommender system on the i - change behavioral change model [J]. IEEE access, 2019, 7 (12): 176525 - 176540.
- 21 中华医学会健康管理学分会, 中国营养学会临床营养分会, 全国卫生产业企业管理协会医学营养产业分会, 等. 超重或肥胖人群体重管理流程的专家共识 (2021 年) [J]. 中华健康管理学杂志, 2021, 15 (4): 317 - 322.
- 22 GASPARETTI F, AIELLO L M, QUERCIA D. Personalized weight loss strategies by mining activity tracker data [J]. User modeling and user - adapted interaction, 2020, 30 (3): 447 - 476.
- 23 KUANR M, MOHAPATRA P, PIRI J. Health recommender system for cervical cancer prognosis in women [C]. Coimbatore: 2021 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT, IEEE), 2021.
- 24 NELOY A A, SHAFAYAT OSHMAN M, ISLAM M, et al. Content - based health recommender system for ICU patient [C]. Kuala Lumpur: International Conference on Multi - disciplinary Trends in Artificial Intelligence, 2019.
- 25 WANG Z, HUANG H, CUI L, et al. Using natural language processing techniques to provide personalized educational materials for chronic disease patients in china: development and assessment of a knowledge - based health recommender system [J]. JMIR medical informatics, 2020, 8 (4): e17642.
- 26 ATI M, OMAR W, HUSSEIN A S. Integration framework of chronic disease management system and a recommender system in the United Arab Emirates [C]. Abu Dhabi: 2015 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT), 2015.
- 27 YANG S, ZHOU P, DUAN K, et al. emHealth: towards emotion health through depression prediction and intelligent health recommender system [J]. Mobile networks and applications, 2018, 23 (2): 216 - 226.
- 28 纪亚亮, 郑阳. 慢性乙型肝炎用药推荐系统的设计与实现 [J]. 医疗卫生装备, 2017, 38 (7): 48 - 51.
- 29 张璐, 陈春, 范小鹏, 等. 基于隐性反馈与交叉推荐的癫痫药物推荐系统 [J]. 集成技术, 2017, 6 (5): 19 - 31.
- 30 张炎亮, 张超, 李静. 基于动态用户画像标签的 KNN 分类推荐算法研究 [J]. 情报科学, 2020, 38 (8): 11 - 15.
- 31 李一男, 胡婷, 王婧婷. 基于大数据的“用户画像”在患者体验提升中的应用现状与前景展望 [J]. 中国护理管理, 2020, 20 (5): 776 - 779.
- 32 AJZEN I. From intentions to actions: a theory of planned behavior [M]. Berlin and New York: Springer Verlag, 1985.
- 33 FOGG B J. A behavior model for persuasive design [C]. France: The 4th International Conference on Persuasive Technology, 2009.
- 34 ABBAS A, ALI M, KHAN M U S, et al. Personalized healthcare cloud services for disease risk assessment and wellness management using social media [J]. Pervasive and mobile computing, 2016, 28: 81 - 99.
- 35 朱郁筱, 吕琳媛. 推荐系统评价指标综述 [J]. 电子科技大学学报, 2012, 41 (2): 163 - 175.
- 36 DE CROON R, VAN HOUDT L, HTUN N N, et al. Health recommender systems: systematic review [J]. Journal of medical internet research, 2021, 23 (6): e18035.
- 37 GILOTTE A, CALAUZÈNES C, NEDELEC T, et al. Offline a/b testing for recommender systems [C]. Marina Del Rey: The Eleventh ACM International Conference on Web Search and Data Mining, 2018.
- 38 CAI Y, YU F, KUMAR M, et al. Health recommender systems development, usage, and evaluation from 2010 to 2022: a scoping review [J]. International journal of environmental research and public health, 2022, 19 (22): 15115.