



智能系统学报

CAAI TRANSACTIONS ON INTELLIGENT SYSTEMS

智能化医养融合服务平台关键技术及应用研究

初佃辉, 吴军, 刘志中, 涂志莹, 胡鑫, 李春山, 苏欢, 夏勇, 高希余

引用本文:

初佃辉, 吴军, 刘志中, 等. 智能化医养融合服务平台关键技术及应用研究[J]. 智能系统学报, 2021, 16(5): 972–988.

CHU Dianhui, WU Jun, LIU Zhizhong, et al. Research on key technologies and applications of intelligent medical and care integration service platform[J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2021, 16(5): 972–988.

在线阅读 View online: <https://dx.doi.org/10.11992/tis.202103022>

您可能感兴趣的其他文章

人机智能技术及系统研究进展综述

A survey of recent advances in human–robot intelligent systems

智能系统学报. 2020, 15(2): 386–398 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201912001>

基于深度学习的视频预测研究综述

Review of deep learning–based video prediction

智能系统学报. 2018, 13(1): 85–96 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201707032>

AI——人类社会发展的加速器

Artificial intelligence: an accelerator for the development of human society

智能系统学报. 2017, 12(5): 583–589 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201710016>

知识智能涌现创新: 概念、体系与路径

Knowledge innovation by intelligent emergence—concept, framework and its pathway

智能系统学报. 2017, 12(1): 47–54 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201610014>

智能航运系统的发展现状与趋势

Review and prospect for intelligent waterway transportation system

智能系统学报. 2016, 11(6): 807–817 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201605007>

基于用户移动轨迹的个性化健康建议推荐方法

Personalized recommendation algorithm of health advice based on the user's mobile trajectory

智能系统学报. 2016, 11(2): 264–271 <https://dx.doi.org/10.11992/tis.201511026>

微信公众平台



关注微信公众号, 获取更多资讯信息

吴文俊人工智能科技进步奖一等奖

成果名称：智能化医养融合服务平台关键技术及应用

获 奖 人：初佃辉、吴军、刘志中、涂志莹、胡鑫、李春山、苏欢、夏勇、高希余、樊昭磊、孙钊、杨万春、桑波、巩玉强

完成单位：山东众阳健康科技集团有限公司、哈尔滨工业大学（威海）、河南理工大学



初佃辉

博士、教授、博士生导师，国家重点研发计划项目首席科学家。现任哈尔滨工业大学计算学部副主任、哈尔滨工业大学（威海）计算机科学与技术学院院长兼软件学院院长、山东省企业网络化与电子商务工程技术研究中心主任、中国软件行业协会智能服务应用分会副理事长、信息技术新工科产学研联盟服务科学与工程专业委员会副主任、山东计算机学会副理事长。主要从事服务计算与软件服务工程、数据挖掘与大数据分析技术、智能医养融合服务技术、网络协同制造与服务技术等方面研究工作。近年作为项目负责人承担完成国家重点研发计划、国家自然科学基金、国家863计划、国家科技支撑计划、山东省重大科技专项等国家和省部级项目20余项。获得省部级科技进步二等奖2项、三等奖2项；取得专利/软件著作权30余项，发表学术论文70余篇。荣获“山东省有突出贡献的中青年专家”、“山东半岛自主创新示范区蓝色汇智双百人才”等荣誉称号。

团队简介

本成果由山东众阳健康科技集团有限公司、哈尔滨工业大学（威海）、河南理工大学组成的产学研联合团队共同完成。成果第一完成单位山东众阳健康科技集团有限公司是我国“一体化数字医院建设”的最早提出者和倡导者之一，是国家工信部、民政部、国家卫生健康委联合认定的“国家级智慧健康养老示范企业”。团队建有山东省智慧医疗工程实验室、山东省医疗信息软件工程技术研究中心、山东省企业网络化与电子商务工程技术研究中心等省级平台，承担完成了国家发改委高技术服务业专项、国家自然科学基金、国家科技支撑计划、山东省重大科技专项等省部级以上项目。团队成员长期从事服务互联网、大数据、物联网和智慧医疗、智慧健康、智慧养老等人工智能服务技术的研究、产品研发和产业化。历时十余年技术攻关，突破了智能服务匹配理论方法以及多源多模态医养大数据治理与信息物理融合、智能辅助诊疗等系列关键技术，研发了基于人工智能技术的系列化智慧医疗健康与养老服务平台产品，探索并实践形成了“平阴模式”、“淄博模式”等智能化医养融合服务创新模式并实现了规模化产业应用。

DOI: 10.11992/tis.202103022

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20210714.1335.004.html>

智能化医养融合服务平台关键技术及应用研究

初佃辉¹, 吴军², 刘志中³, 涂志莹¹, 胡鑫¹, 李春山¹, 苏欢¹, 夏勇¹, 高希余²

(1. 哈尔滨工业大学(威海) 计算机科学与技术学院, 山东 威海 264209; 2. 山东众阳健康科技集团有限公司, 山东 济南 250101; 3. 河南理工大学 计算机科学与技术学院, 河南 焦作 454003)

摘要:近年来,我国医疗健康和养老服务行业存在资源结构不平衡、医养服务智能化水平低、跨域协同难等问题;同时,缺乏应对重大疫情与突发公共卫生事件的信息化体系与机制。针对上述问题,本文基于大数据、人工智能、物联网、服务计算等新一代信息技术,通过服务模式、服务匹配、医养大数据治理、智能化诊疗服务与智能化辅助诊断机器人等关键技术创新以及智能化医养融合服务平台的研发,通过“互联网+医疗健康”和“互联网+养老”服务体系的深度智能化协同,实现了医疗健康与养老服务的深度融合,解决了医养服务资源整合难、多源多模态数据与异构系统治理难、全流程全周期智能辅助诊疗以及医养融合服务供给难等挑战性问题。

关键词:医疗健康;智慧养老;服务匹配;医养大数据;智能诊断;诊疗机器人;医养服务平台

中图分类号: TP183 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2021)05-0972-17

中文引用格式:初佃辉,吴军,刘志中,等. 智能化医养融合服务平台关键技术及应用研究[J]. 智能系统学报, 2021, 16(5): 972-988.

英文引用格式:CHU Dianhui, WU Jun, LIU Zhizhong, et al. Research on key technologies and applications of intelligent medical and care integration service platform[J]. CAAI transactions on intelligent systems, 2021, 16(5): 972-988.

Research on key technologies and applications of intelligent medical and care integration service platform

CHU Dianhui¹, WU Jun², LIU Zhizhong³, TU Zhiying¹, HU Xin¹,
LI Chunshan¹, SU Huan¹, XIA Yong¹, GAO Xiyu²

(1. School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology(Weihai), Weihai 264209, China; 2. Shandong Zhongyang Health Technology Group Co., Ltd, Jinan 250101, China; 3. School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: Recently, there are some problems in China's medical health and pension service industry, such as unbalanced resource structure, low level of intelligent medical and pension services and difficulty in cross domain collaboration. At the same time, there is a lack of information system and mechanism to deal with major epidemic and public health emergencies. Based on the new generation of information technology such as big data, artificial intelligence and service computing, through the innovation of key technologies such as service mode, service matching, intelligent diagnosis and treatment service and auxiliary diagnosis robot, through the deep intelligence coordination of "Internet plus medical health" and "Internet plus pension" service system, we has realized the deep integration of medical health and pension services, it solves the challenges of integration of medical and nursing service resources, governance of multi-source, whole process and whole cycle intelligent auxiliary diagnosis and treatment, and supply of medical and nursing integrated services.

Keywords: medical health; intelligent old-age care; services match; medical and care big data; intelligent diagnosis; diagnosis and treatment robot; medical and care service platform

收稿日期: 2021-03-18. 网络出版日期: 2021-07-14.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61772159, 61872126, 61902090, 61802089); 国家发改委高技术服务业专项、国家科技支撑计划项目(2013BAH05F02); 国家区域创新中心科技专项(2017QYCX12); 山东省科技重大专项(2015ZDXX0201B02, 2014CGZH1103); 山东省重大科技创新工程(2019JZZY020125); 山东省自然科学基金项目(ZR2017MF026).

通信作者: 初佃辉. E-mail: cdh@hitwh.edu.cn.

“老有所医、老有所养”是当前社会民生和政府工作的重心,是关系到国家发展全局与亿万百姓福祉的重要战略。目前,我国 60 岁以上人数已超过 2.5 亿,其中,70% 以上的老人被慢性病困扰。据估计,到 2030 年,我国将成为全球老龄化程度最高的国家;到 2050 年,我国社会将进入深

度老龄化阶段。人口老龄化的加速和慢性病人口的急剧增加,为社会保障、医疗健康、智慧养老等公共服务带来了巨大压力。医疗健康和养老服务已成为我国重要的公共卫生和社会问题之一。

然而,我国医疗健康与养老服务行业存在资源结构不平衡、基层医疗健康和养老服务资源严重不足、优质医疗资源下沉难、跨行业/跨领域/跨企业医养资源协同难、医养服务匹配不精准等难题^[1],严重制约了“9073”养老模式和分级诊疗制度的推行。同时,医疗、养老、社保、政府监管等部门之间存在着较多的信息孤岛、基础信息分散且多源异构数据融合难、数据利用率低、跨领域异构系统集成难。特别地,“医”、“养”服务体系分离、医养服务跨界融合难、服务智能化程度较低,缺乏应对重大疫情与突发公共卫生事件的能力,严重影响了医养服务的质量、效率和效益。

为了推动医疗健康与养老服务事业的发展,国家先后颁布了《健康中国2030规划纲要》、《“十三五”国家老龄事业发展和养老体系建设规划》、《国家积极应对人口老龄化中长期规划》、《智慧健康养老产业发展行动计划(2017-2020年)》等重大政策,积极部署探索适合中国国情的医疗健康和养老服务的创新模式,明确提出“利用大数据、人工智能等新一代信息技术实现个人、家庭、社区、机构与健康医疗资源的有效对接、优化配置和智能服务”^[2]。

近年来,医疗健康和养老服务在云计算、大数据、人工智能、物联网、服务互联网等新一代信息技术的推动下,呈现出“跨界融合”的新态势与新特征。学术界和产业界围绕智能医疗健康和养老服务新技术开展了大量的研究与实践。其中,IBM、东软集团、天津九安、阿里健康、丁香园、百度健康等机构在医学图像处理、医学检验检测、医疗诊断、辅助治疗、健康管理、药物研发等方面开展了深入的研究,取得了丰富的成果。中华老年网、阿里医药老人频道、39健康老人网、养老中国网等企业基于物联网、可穿戴与便携式健康监测技术研究了智慧养老解决方案。众多学术界和产业界的研究,极大地推动了医疗健康和养老服务行业的发展。然而,已有的研究与实践工作侧重于医疗健康和养老服务两个相对独立的垂直领域,缺乏对全流程全周期智能化医养服务融合方面的研究。如何高效智能地为用户提供智能、高效、全生命周期的医养协同服务成为当前挑战性问题的之一。

针对上述问题,本文瞄准健康中国2030战略任务与“老有所医、老有所养”长期重大社会民生需求,基于大数据、人工智能、物联网、服务计算

等新一代信息技术,开展了服务模式创新、服务匹配关键理论与方法创新、智能化医疗服务与应用创新等,研发了一系列智能化辅助诊断与医疗服务及机器人,实现了优质医疗资源向基层医疗和养老服务机构的有效下沉,解决了基层优质医疗资源不足、医养服务“最后一百米服务”打通难等问题;研发了面向全流程、全周期的开放式智能化医养融合服务平台,实现了跨网络、跨领域、跨区域、跨平台的医养产业链跨界服务的高效智能协同,高质量地提供全生命周期持续的医疗健康与养老服务,提升了医养服务智能化协同和应急处置能力。

1 总体研究方案

通过对医疗、健康、卫健、民政以及养老服务行业的调研分析,挖掘并归纳了我国医养服务领域存在的“八难、六低、两差”挑战性问题,即:医养服务资源跨界融合难、供需匹配难、优质医疗资源下沉难、看病就医难、“最后一百米服务”打通难、基础信息分散与数据融合难、跨领域异构系统集成难、精准服务难(八难);基层服务资源有效利用率低、服务业务协同效率低、服务过程透明度低、信息集成程度低、数据利用率低、智能化程度低(六低)、平台架构开放性差、精细化管理与服务能力差(两差)。

为了解决上述挑战性问题,本文基于人工智能、大数据、物联网、服务计算等新技术,在医养融合服务模式、服务匹配理论与方法、医养大数据治理与信息物理融合技术、智能辅助诊疗服务与机器人技术以及面向医养融合的开放式智能化服务平台方面开展了深入的研究。基于所研发的理论方法技术,整合了医疗、养老、康复、预防、护理、健康管理、生活照料、紧急救援等跨行业/跨领域/跨企业的服务资源,实现了以用户为中心、全流程、全周期的“互联网+医疗健康”和“互联网+养老”医养深度融合服务供给。

本文所研发的开放式智能服务平台架构,包括物联网感知与边缘计算、服务接入与管理、协同调度引擎、端/云业务协同、智能交互应用5个层次;涵盖面向数据、网络、系统、信息、内容等多层次的安全控制与运维治理体系;同时,研发了区域分级诊疗服务和人口健康数据监管、智能化辅助诊断机器人、智能化医疗影像辅助诊断、医疗实时数据监管、基于大数据的门诊和医管管控、全科医生智能辅助诊疗、临床路径管理、医疗质量追溯、智能健康评估、慢性病管理以及智慧养老服务等系列软件系统。最后,基于微服务、

智能物联网和跨企业链智能协同与集成等技术,实现了上述业务服务系统的综合集成,研发了面向全流程、全周期的开放式智能医养融合服务平台

台,形成了医疗健康与养老服务融合的整体解决方案并开展了大规模产业化应用。总体研究方案如图1所示。

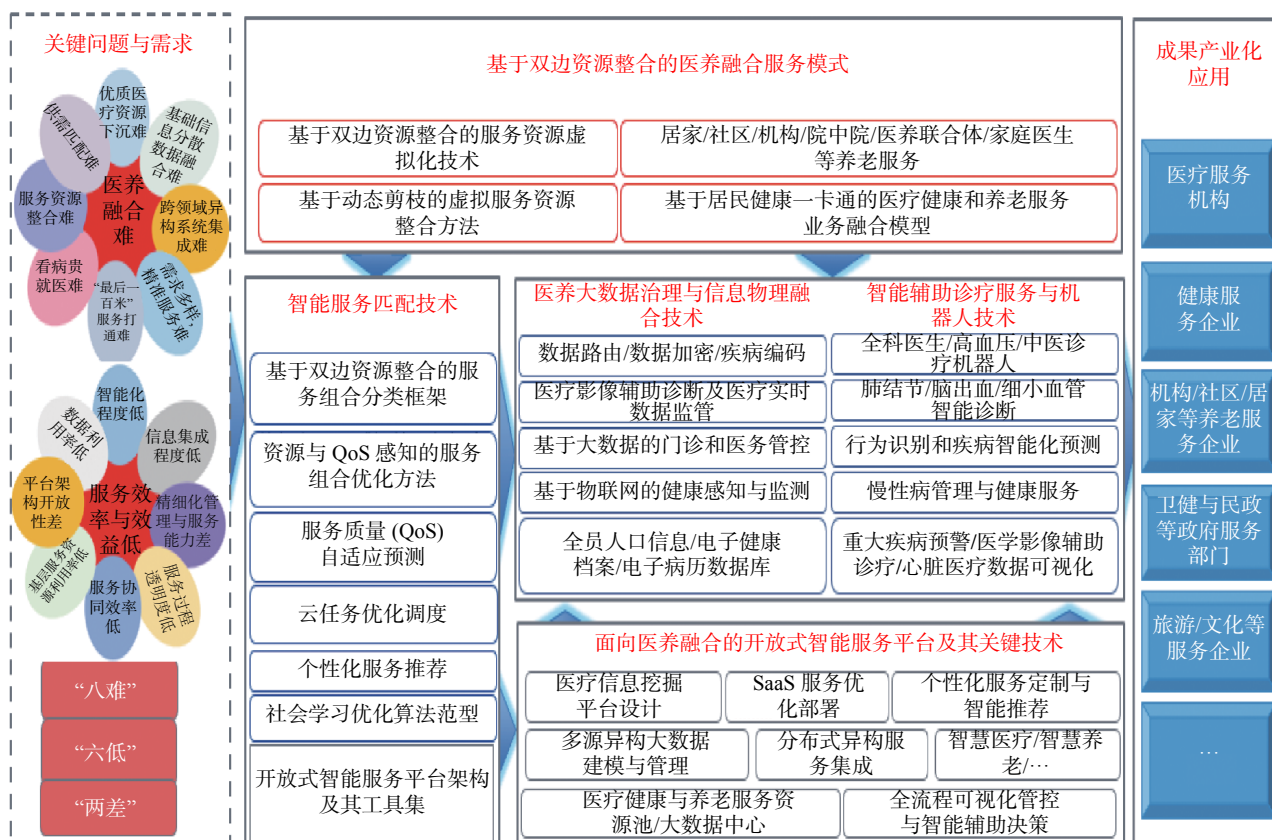


图1 智能化医养融合服务平台总体研究方案

Fig. 1 Overall research scheme of intelligent medical and nursing integration service platform

2 主要研究内容与关键技术

为了解决医养服务领域存在的“八难、六低、两差”等难题,本文在医养融合服务模式、智能服务匹配理论与方法、医养大数据治理与信息物理融合技术、智能辅助诊疗服务与机器人技术以及医养融合服务平台构建方面开展了深入的研究。下面对上述研究内容和关键技术方法进行简要的介绍。

2.1 基于双边资源整合的医养融合服务模式

针对医疗健康与养老服务领域相互独立、业务协同效率低、不能快速满足跨领域的医养服务需求以及缺乏应对重大疫情与突发公共卫生事件的协同处理机制等问题,本文开展了服务模式创新研究,提出了基于双边资源整合的医养融合服务模式^[1],研究了需求整合以及服务资源虚拟化整合方法等^[2-3],形成了支撑医养服务融合的模式与理论基础。该服务模式的主要思想为:针对用户边,通过对用户需求的形式化定义和虚拟化处理,将碎片化、零散化的医养服务需求优化整合,形成模式化、整体化的医养服务需求;针对医养

服务资源边,通过虚拟化技术^[2-3]整合来自于不同领域、不同机构的资源,形成对用户透明、共享的医养服务资源。该服务模式有效地提高了医疗健康与养老资源的利用率,为实现综合性高质量医养服务协同奠定了基础。

双边资源整合形式化描述为:对于用户一边,设医养服务需求如式(1)所示;对于服务资源一边,设医养服务资源为

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11}(sr_1) & c_{12}(sr_2) & \cdots & c_{1n}(sr_n) \\ c_{21}(sr_1) & c_{22}(sr_2) & \cdots & c_{2n}(sr_n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{n1}(sr_1) & c_{n2}(sr_2) & \cdots & c_{nn}(sr_n) \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中 $d_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为第 i 个养老服务需求。

$$\begin{pmatrix} sr_1 \\ sr_2 \\ \vdots \\ sr_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} sr_{11} & sr_{12} & \cdots & sr_{1n} \\ sr_{21} & sr_{22} & \cdots & sr_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ sr_{n1} & sr_{n2} & \cdots & sr_{nn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中 $sr_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 表示医养服务系统整合后的第 i 类医养服务资源。基于双边资源整合思想,对医养服务需求的整合模型为

$$\mathbf{d} = \sigma_{\text{sim}}[d_1 d_2 \cdots d_n]^T \quad (3)$$

式中 σ_{sim} 表示从 n 个养老服务需求中选择相似的医养服务需求。

对医养服务需求进行整合,将医养服务需求 \mathbf{d} 变换成为对角矩阵,建立双边资源整合医养服务业的数学模型为

$$\begin{pmatrix} d_{c_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{c_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{c_n} \end{pmatrix} = \Phi \begin{pmatrix} sr_{11} & sr_{12} & \cdots & sr_{1n} \\ sr_{21} & sr_{22} & \cdots & sr_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ sr_{n1} & sr_{n2} & \cdots & sr_{nn} \end{pmatrix}^T \quad (4)$$

式中: Φ 表示医养服务资源的分配矩阵; d_{c_i} 表示医养服务需求 \mathbf{d} 对第 i 类医养服务资源的服务需求约束。

为了统一管理和调度医养服务资源,本文开展了供需双方医养服务资源的虚拟化研究^[2-3],提出了医养服务资源形式化定义方法,设计了养老服务资源虚拟化映射机制和虚拟化策略,提出了

基于价值网络与动态剪枝的虚拟服务资源整合与优化方法,研究了基于Single-Pass相似性养老服务资源聚类算法,构建了养老服务资源库;提出了基于FP-growth算法与人工蜂群算法(artificial bee colony algorithm, ABC)的医养服务资源优化整合方法^[4]。

在应用方面,基于医养服务融合模式与“互联网+”理论,整合医院、健康、养老机构等的医疗服务资源和医养服务,通过资源虚拟化技术构建虚拟医养服务资源库,在服务资源库的基础上协同调度医养服务资源,以满足大规模个性化的医养服务需求;实现了基于居民健康一卡(码)通的医疗健康和养老服务业务融合,建立了面向医养融合的居家/社区/院中院/医养联合体/家庭医生等养老服务生态网络;实现了“互联网+医疗健康”与“互联网+养老”的医养深度融合服务体系。基于双边资源整合的医养融合服务模式及应用如图2所示。

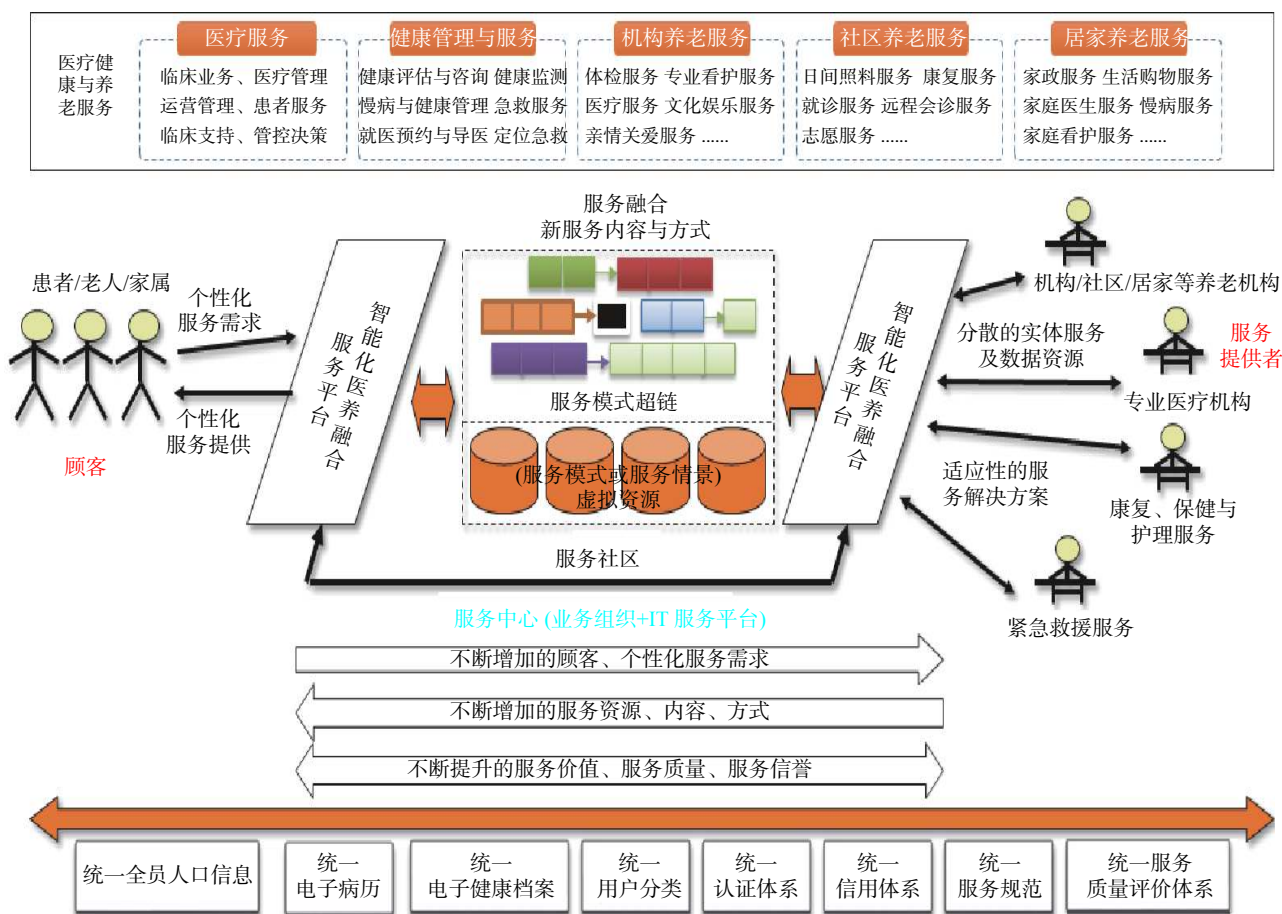


图2 基于双边资源整合的医养融合服务模式

Fig. 2 Medical and nursing integration service mode based on bilateral resource integration

2.2 面向医养融合的智能服务匹配关键技术

医疗健康与养老服务相互融合形成了复杂动态服务生态网络,在此网络下,为了及时快速地为用

户提供满足其需求的服医养务,本文基于深度学习、知识图谱等人工智能理论与方法,研发了用户需求主动感知技术^[5-6]、医养服务推荐技术^[7-9];

为了实现医疗健康与养老服务领域业务的无缝衔接,提升医养领域服务的协同能力,本文深入分析了双边资源整合模式下服务优化组合问题的新特征,建立了服务优化组合的分类框架^[10-12];通过挖掘领域服务的特性及新型群体智能算法的设计,提出了一系列服务优化组合方法^[13-17],突破了高可靠服务动态优化组合等智能服务匹配关键技术。下面对部分关键技术进行简要的介绍。

2.2.1 医养服务需求智能化感知关键技术研究

鉴于医疗健康与养老服务行业用户的特殊性,迫切需要服务系统能够主动精确地感知用户的需求,从而可以快速准确地为用户提供满足其需求的服务。

1) 情境感知的服务需求感知方法

通过对情境和需求信息的形式化建模,提出了一种基于模糊聚类与神经网络的需求特征提取方法^[5]。该方法结合情境信息来计算用户在偏好、隐性需求和社交关系方面的相似度,从而找到邻居集合,依据上文得到的各领域需求特征,综合考虑用户自身对需求的偏好和邻居集合的需求偏好,进而得到用户在不同领域的需求;本文还开展了面向情境的医养服务需求动态演化机理的研究,提出了面向情境的医养服务需求动态演化方法,动态地判断用户需求习惯和需求变动的情况。情景感知的医养服务需求发现方法如图3。

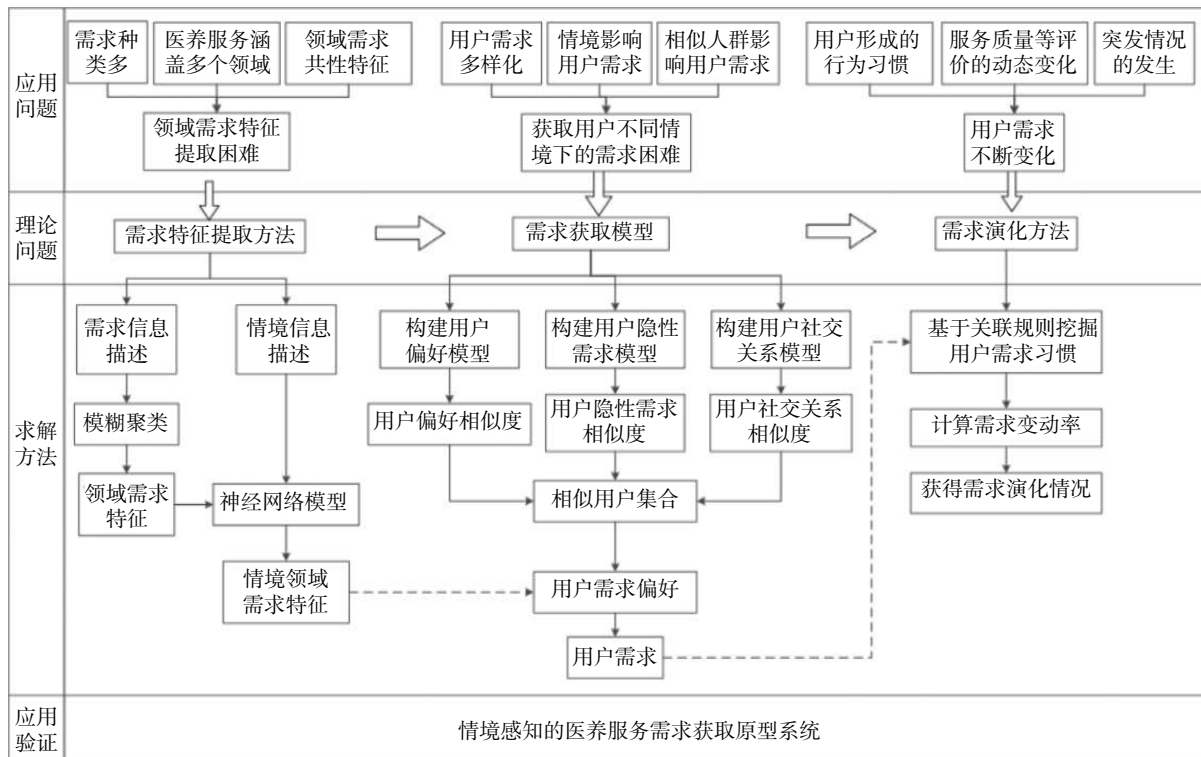


图3 情景感知的医养服务需求发现方法研究

Fig. 3 Research on medical and nursing service demand discovery method based on context awareness

2) 基于知识图谱的医养服务需求感知方法

针对医养服务用户无法准确描述自身需求的问题,首先通过对现实中用户的实际需求进行分析,将服务需求进行分类,并采用分类树的方法进行形式化表示,从而准确地描述用户个性化的医养服务需求;其次,对医养服务领域进行知识建模,并运用机器学习算法和深度学习算法抽取医养服务领域知识,根据所抽取的知识构建医养服务领域的知识图谱;最后,结合已经构建好的养老服务领域的知识图谱和养老服务需求形式化的方法,提出了基于知识图谱的养老服务需求感

知算法^[6]。具体研究思路如图4所示。

2.2.2 智能化医养服务推荐方法研究

信息不对称是医养服务领域面临的最大的问题之一,造成许多用户难以及时发现满足其需求的医疗健康与养老服务,严重影响了资源的利用率以及用户的满意度。针对这一问题,本研究开展了智能化服务推荐方法研究,主要包括基于用户画像的医养服务推荐方法^[7]、基于信任网络的医养服务推荐方法^[8]以及基于深度学习与多目标优化的医养服务推荐方法^[9]。

1) 基于用户画像的医养服务推荐方法

该成果首先从医养服务的分类、内容及服务质量3个方面入手,将实际的服务需求与分类理论结合,对医养服务进行分类;利用基于文本处理的方法提取服务内容关键词,并将服务内容向量化;为了保证服务质量,利用层次分析法构建基于信息化系统的医养服务质量评价体系。在此基础上建立医养服务个性化主题树模型并对医养服务进行形式化描述。其次,从多个维度刻画客

户的需求与兴趣,建立面向客户的用户画像,分别对客户的静态信息和动态信息进行获取并建模,提取用户对于养老服务的需求约束条件并设计标签、权重信息与时间衰减函数相结合的方式动态地描述老年客户的需求与兴趣。最后,将用户画像中体现的客户的需求兴趣与医养服务具体描述方法结合,针对不同的适用情况,提出基于用户画像的矩阵分解推荐算法^[7]。

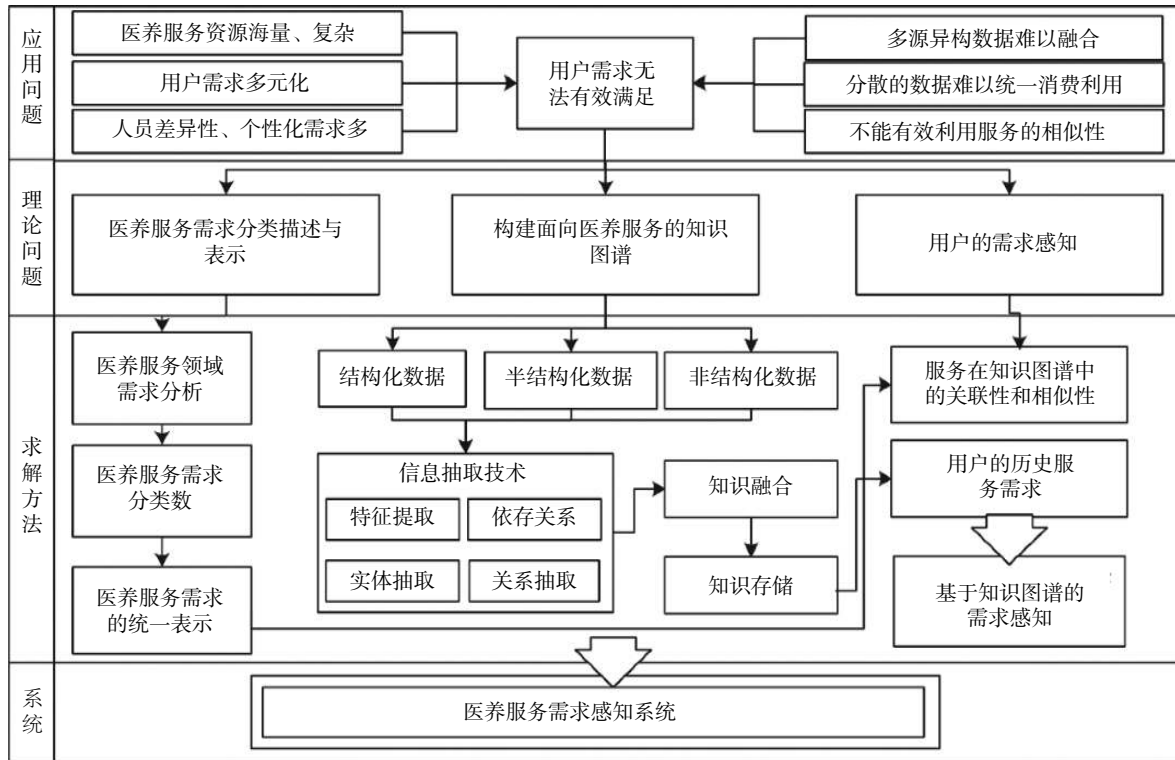


图4 基于知识图谱的医养服务需求感知研究示意

Fig. 4 Research on demand perception of medical and nursing services based on Knowledge Graph

2) 基于信任网络的养老服务推荐方法

为了给用户提供满足其需求的可靠服务,本研究提出了一种基于可信网络的医养服务推荐方法^[8]。首先基于用户画像和服务画像对用户和服务进行表征,并使用 k -means 聚类算法对用户和服务进行聚类。其次,建立用户信任模型,构建信任的网络,基于随机游走算法获得可信服务并推荐给用户。该方法主要根据用户的直接信任度和间接信任度来计算用户的信任度。用户对服务直接信任度计算如式(5)所示,间接信任度的计算如式(6)所示,整体信任度的计算如式(7)所示。

$$T_{\text{direct}} = \mu_{\text{qos}} t^{\text{qos}} + \mu_f t^f, \mu_{\text{qos}} = \mu_f = 0.5 \quad (5)$$

$$T_{\text{indirect}} = b_{s_1}^{u_1 s_3} = b_{u_3}^{u_1} b_{s_1}^{u_3} \quad (6)$$

$$T(U_1, S_1) = \alpha T_{\text{direct}} + \beta T_{\text{indirect}}, (\alpha + \beta = 1) \quad (7)$$

式中: t^{qos} 表示用户对于服务的信任度; t^f 表示用户的反馈信任度; μ_{qos} 与 μ_f 表示两种信任度的权重;

$b_{u_3}^{u_1} b_{s_1}^{u_3}$ 表示用户 U_1 通过用户 U_3 对服务 s_1 的信任度; α 与 β 表示直接信任度与间接信任度的权重。

3) 基于深度学习与多目标优化的医养服务推荐

针对传统推荐算法不能克服冷启动和数据稀疏问题,提出了基于深度学习与多目标优化的医养服务推荐方法^[9]。首先通过用户和医养服务的基本属性信息,分别提取用户特征和医养服务的特征,并根据均方误差来训练模型;之后,从众多的医养服务中筛选出较为适合目标用户的服务,作为医养服务推荐候选集;其次,构建基于人工免疫算法的多目标优化推荐模型,将推荐的准确率和 novelty 作为目标函数,将从深度学习模型提取出的服务推荐候选集作为初始种群,计算抗体间的亲和度,找出占优种群并进行交叉变异克隆操作,达到最大迭代次数后得到最终的推荐列表,从而向用户推荐更精准更新颖的服务。具体研究内容如图5所示。

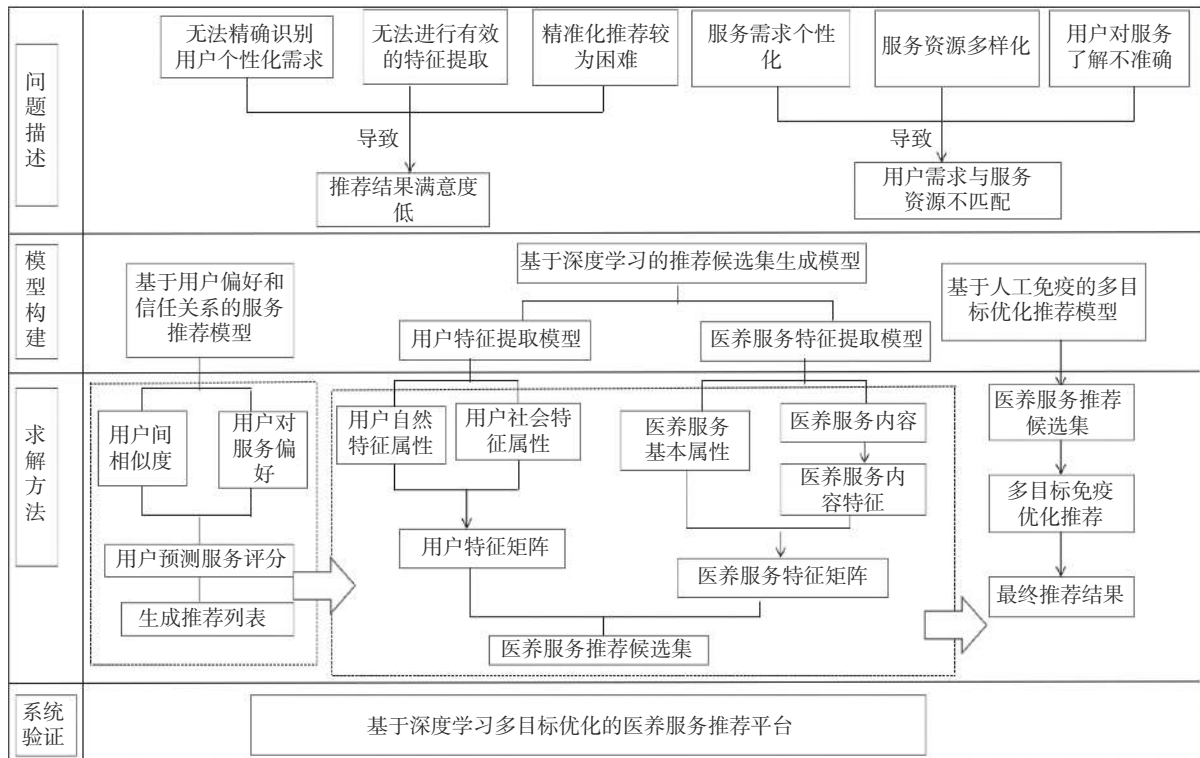


图 5 基于深度学习与多目标优化的医养服务推荐方法研究

Fig. 5 Medical and nursing service recommendation method based on deep learning and multi-objective optimization

本研究通过深度学习的方法提取用户特征和医养服务特征,从而挖掘用户和医养服务之间存在的潜在关系。在用户特征提取方面,采用神经网络来进行特征提取,第 1 层提取边缘特征,第 2 层将简单特征组合成复杂特征,以此类推。具

体操作过程如图 6 所示。在医养服务特征提取方面,提出了基于神经网络和文本卷积网络的特征提取方法,将用户特征与医养服务特征通过多层感知机来拟合用户评分,最终,筛选出与用户需求匹配的医养服务资源,具体操作过程如图 7 所示。

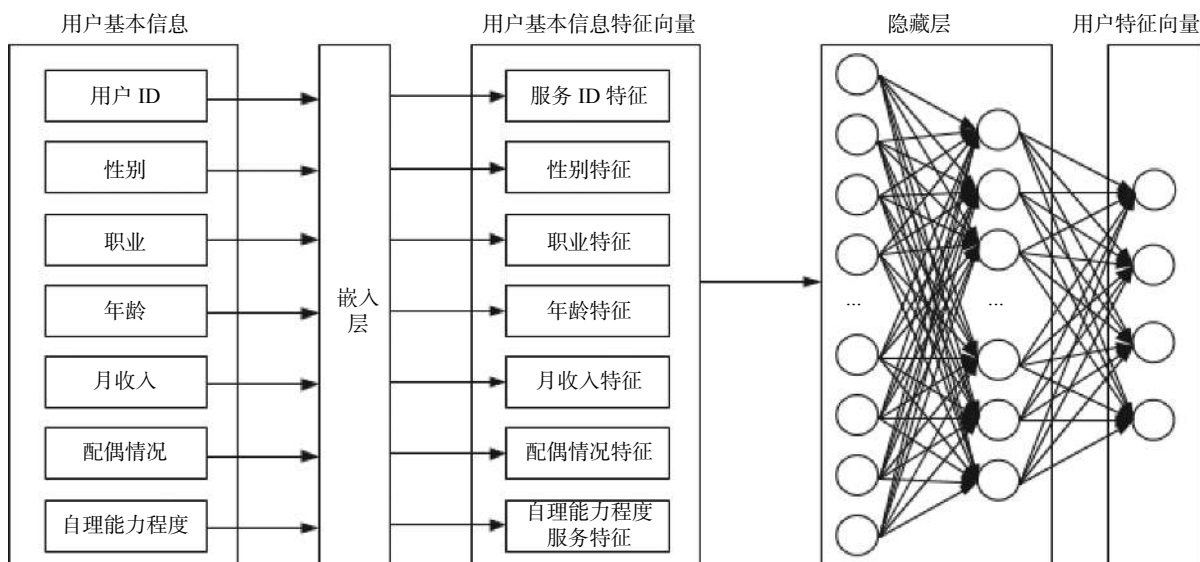


图 6 用户特征提取模型

Fig. 6 User feature extraction model

2.2.3 智能化医养服务协同关键技术与方法研究

在医养融合服务网络环境下,服务协同能够为用户提供满足其复杂需求的综合性医养服务解

决方案。本文在服务优化组合方法以及云任务优化调度方法方面开展了深入的研究,取得了一系列的研究成果,为医养服务高效协同提供了技术

支持。

1) 资源与 QoS 感知的医养服务优化组合方法

在进行医养服务优化组合时,需要考虑组件服务是否具备一定数量的服务资源来支撑其完成相关任务。此外,重要的服务领域特性(先验性、关联性与相似性)对于求解医养融合服务模式资源与 QoS 感知的服务优化组合问题有着重要

的影响。针对这一问题,本方法首先基于服务领域的 3 个特性,改进了人工蜂群算法的初始食物源生成方法以及邻域搜索方法,设计了搜索空间优化转移规则和服务资源感知算子;最后,基于改进的人工蜂群算法提出了一种资源与 QoS 感知的服务优化组合方法^[13]。其中资源检测算子如算法 1 所示。

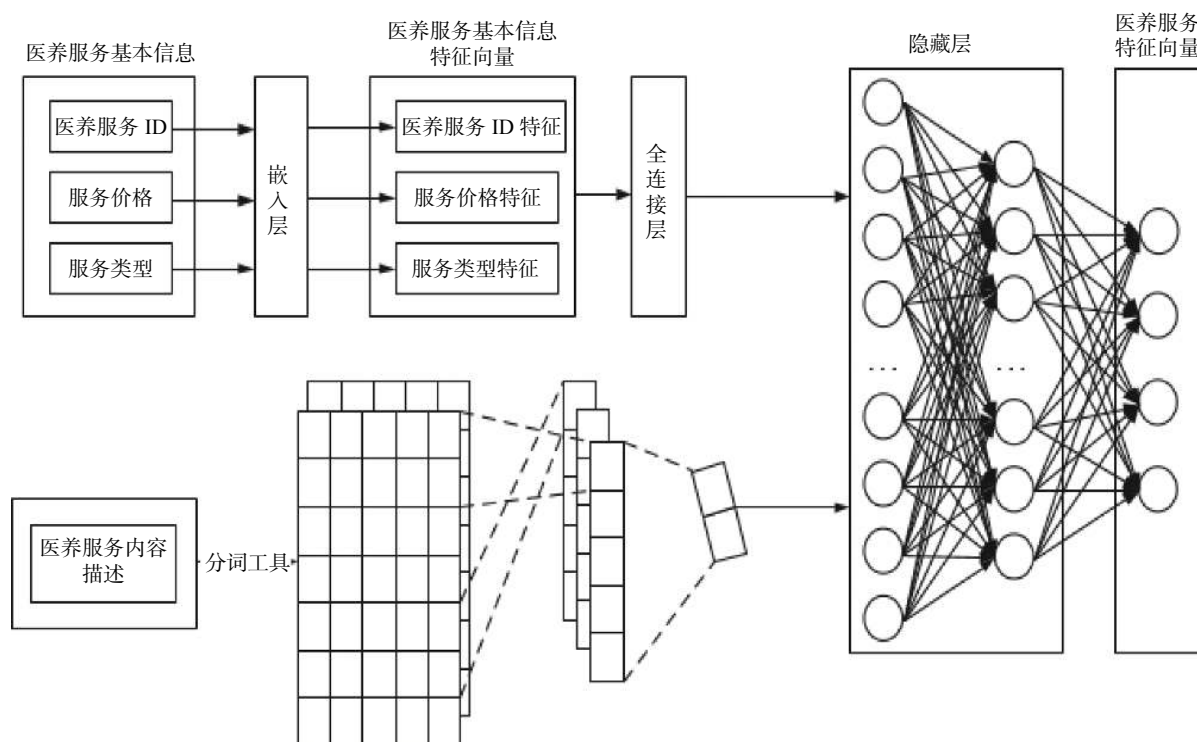


图 7 医养服务特征提取模型

Fig. 7 Feature extraction of medical and nursing service

2) 高可靠医养服务优化组合方法

针对医养服务融合效率低、可靠性差等问题,本文提出了一种高可靠服务动态优化组合方法^[14]。该方法首先设计了文化遗传算法并使用该算法将全局服务质量(QoS)约束分解成局部QoS约束,从而将全局优化问题转换成局部优化问题,降低了问题求解的复杂度;在进行服务组合时,通过改进的事例推理方法,根据实时的情境信息动态地预测候选服务的QoS值,基于预测的QoS值选择最优的服务来完成当前的任务。该方法通过引入QoS预测方法,极大提高了服务优化组合的可靠性,为医养服务协同提供了重要的技术支持。

算法 1 资源检测算子

输入 需要执行的任务;候选服务的资源信息。

输出 可用的候选服务。

- (1) 计算当前任务需要的资源量 RRA ;
- (2) 获取当前候选服务具有的可用资源量 ARA ;

(3) if $RRA < ARA$;

(4) 当前候选服务可以被选用;

(5) end if

(6) if $RRA > ARA$;

(7) 当前候选服务不能被选用;

(8) end if

3) 基于改进 SLO 的云任务优化调度方法

受社会认知理论与人类社会智能演化过程的启发,本文提出了一种新型的群体智能算法——社会学习算法范型(social learning optimization algorithm, SLO)^[15]。针对云任务优化调度问题,本研究首先深入分析了该问题的特性,然后对社会学习优化算法进行了改进,设计了新型的观察学习算子与模仿学习算子;之后,利用 SPV 方法将具有连续本质的学习算子离散化用于离散型的云任务调度问题;最后,提出了基于改进 SLO 的云任务优化调度方法^[16]。其中,观察学习算子如式(8)所示,模仿学习算子如式(9)所示:

$$x_{ik}^* = \omega \cdot x_{ik} + x_k^{cg} \cdot (1 - \sin(\alpha)) \quad (8)$$

$$x_{ik}^* = x_{ik} + F \cdot (x_{ik}^{cg} + (x_{r_1k} - x_{r_2k})) \quad (9)$$

式中: x_{ik}^* 为通过观察学习后新个体 X_i^* 第 k 维的变量; $\omega \in (0, 1)$ 为学习习惯权重; $\sin(\alpha)$ 为学习扰动因子, $\alpha \in [2, \pi]$; $\omega \cdot x_{ik}$ 表示个体在学习中的自我保留部分; $x_k^{cg} \cdot (1 - \sin(\alpha))$ 表示个体向最优个体学习后获取的部分; $F \in [0, 1]$ 为缩放因子; r_1 和 r_2 为 $[1, d]$ 之间的随机数且 $r_1 \neq r_2$; x_{r_1k} 为随机个体 X_{r_1} 的第 k 维变量; x_{r_2k} 为随机个体 X_{r_2} 的第 k 维变量; x_k^{cg} 为当前最优个体 X^{cg} 的第 k 维变量。

2.3 医养大数据治理与信息物理融合关键技术

医疗健康与养老领域存在着大量的 HIS (hospital iNformation system)、PACS (picture archiving and communication systems)、LIS (laboratory information management system)、EMR (electronic medical record) 等多源异构系统, 产生了大量的电子病历、健康档案、医疗影像、诊断处方等多源多模态医养大数据。这些医养大数据通常是集中采集、集中存储, 存在传输速率低、使用不稳定、业务数据孤岛多、数据协同与融合能力差等问题。针对这些问题, 本研究首先建立了由全员人口信息、电子病历和健康档案数据库构成的医养大数据资源池^[18], 开展了医养大数据治理相关方法研究, 提出了一种面向医养大数据的路由方法^[19], 保证了医养大数据跨领域跨部门的快速传输; 基于区块链技术提出了数据加密与验证方法^[20], 为医养大数据的可信协同应用提供了技术支持; 为了提高医养大数据的使用效率, 本研究提出了智能化疾病分类编码方法^[21-23]以及基于深度学习的 ICD 手术与操作编码方法^[24]; 同时, 基于所采集的老人医养健康数据, 开展了老人行为识别与跌倒监测研究^[25-26]。

1) 人口信息、电子病历和健康档案数据库的构建

本研究面向省、市、县(区)健康医疗大数据的汇聚、治理与共享应用, 研发了区域人口健康信息平台解决方案, 建立了基础信息库、卫生标准库、全员人口库、居民电子健康档案库、电子病历数据库、基础资源库、公共卫生信息库、统计分析库、共享交换库等^[18]; 设计了完善数据治理方法框架, 建立了统一的核心数据库框架, 对省、市、县三级平台进行数据收集, 形成居民全生命周期的健康数据库, 并且将数据进行逐级加密保存到区块链中, 通过数据路由和区块链的同步机制将居民健康数据分发到不同平台, 实现数据的共享使用。

2) 面向医养大数据的智能路由方法

本研究提出了一种面向医养大数据的路由方法^[19]。该方法基于服务部署形成数据路由网络, 以不同健康平台为依托, 通过动态数据整合形成分布式存储的数据集市, 随后采用数据索引形式在数据路由上进行数据注册, 以支撑数据访问的最优路径选择。该路由方法提高了医疗信息大数据的传输效率与准确性。该数据路由层级与平台服务器层级一一对应, 最高层级的数据路由发起自上而下逐级的索引数据同步, 最低层级的数据路由发起自下而上的索引数据汇总, 每个数据路由根据索引数据和数据访问路径预设的优先级形成最终的数据路由表。通过多层级分布式数据路由网络等技术的研发, 实现了多源多模态数据的有效汇聚, 解决了医养大数据传输效率低等问题。

3) 基于区块链的数据加密及数据验证方法

为实现医养大数据的安全共享, 本成果研发了一种医养大数据加密及验证方法^[20]。该方法基于区块链技术, 实现 4 层 HASH 加密。4 层 HASH 加密, 层层相关, 每一层都会将上一层的加密内容作为本层的加密项。该方法分别在数据集市服务器的数据库中进行第 1 层加密, 然后在数据路由服务器上第 2 层加密, 最后在区块链服务器上第 3 层和第 4 层加密。该方法在区块链服务器中, 将多个索引数据进行两两组合加密, 生成区块交易加密密文; 在区块链服务器中, 将上一区块密文与本区块交易密文组合, 最终完成 4 层 HASH 加密, 提高了医养大数据的安全性。

4) 智能化疾病编码方法

为了提高疾病诊断的效率与准确性, 该成果研发了疾病自动编码方法及系统^[21-23]。在进行疾病分类时, 本研究首先对原始诊断数据进行分词处理、联想转化处理和搜索匹配树处理; 然后, 当有新的疾病分类数据到来时, 基于匹配树进行匹配处理, 从匹配结果中筛选出最优结果。最后, 评估结果的编码准确性。该方法根据医生输入的诊断信息, 结合对病历的解析分词和语义理解, 自动对照标准诊断库 ICD-10 进行编码, 并对编码结果评估其正确可能性, 疾病编码精度达到 96% 以上, 为实现智能化辅助医疗诊断奠定了重要基础。

5) 基于深度学习的 ICD 手术与操作编码匹配方法

为了提高电子病历中 ICD 手术与操作编码的匹配效率, 本研究研发了一种基于深度学习算法的 ICD 手术与操作编码自动匹配方法^[24]。该方法采用双向自回归语言模型对自然语言序列进行建模, 使每一条手术描述和每一条 ICD 编码结合并

计算其语义空间权重,完成对手术描述重构;使用重构的手术描述进行ICD编码分类匹配以解决概念拆分的问题。特别地,在使用ICD手术与操作编码固有的层级结构进行双向自回归模型建模,融入业务先验知识,实现了ICD编码快速、准确匹配。该方法的每个模块只完成相对简单的一项任务,大大减小了模型参数的搜寻空间,缩减了所需要的数据量;业务先验知识的融入,提高了算法的效率。

6) 老年人行为识别方法

老年人行为识别是老年人健康度评估的关键,而老年人的日常行为在时间维度无明确边界,在空间维度特征繁杂,给日常行为的发现和识别带来了极大的困难。针对这一问题,本成果结合无监督分类算法的全自动筛选和有监督算法的精确识别优点,采用多传感器自适应融合策略,提出了老年人日常行为识别算法,解决了日常行为模糊边界带来的行为识别问题^[25-26]。无监督行为发现算法采用自适应UnADevs聚类,通过探索活动内动作的相似性,在时间维度对活动进行划分,具体如算法2所示。

算法2 自适应无监督发现算法

输入 activePool, tolerance, minDur, accStream;

输出 discovered_clusters。

```

1) For each sample IN accStream
2) window.add(sample)
3) if window.size > win_size
4) fv = Preprocess(window) #filter & extract features
5) window.clear()
6) cst = Find_closest_cluster(fv, active_cluster)
#perform the clustering
7) Update(cst) #update the cluster: centre, size, and time
8) if active_cluster.size > activePool
9) Merge(active_clusters)
10) new_cluster = Create_cluster(fv)
11) active_cluster.add(new_cluster)
12) FOR_EACH cluster IN active_clusters
13) if cluster.time - fv.time > tolerance
14) discovered_cluster.add(cluster)
15) active_cluster.remove(cluster)

```

2.4 智能辅助诊疗与智能服务机器人关键技术

为了解决医养领域内优质资源缺乏、分布不均衡、服务智能化程度低等突出问题,深入研究了智能辅助诊疗与智能服务机器人技术。首先,

基于知识图谱技术,构建了覆盖3 000多个病种的知识图谱;重点研发了基于语音识别的人机交互、基于人工智能的辅助诊断系列技术、基于机器学习的慢性病预测方法等。研发了全科医生、中医诊疗、肺结节、脑出血、高血压、糖尿病、医学影像处理等智能化辅助诊疗服务和机器人,解决了医养资源分布不均衡以及医养服务智能化水平低的问题。

1) 增量式本体化医学知识图谱构建方法

基于成果单位多年从事智能医疗所积累下来的数据优势,从知识构建的工程化角度出发,使用当前最先进的ALBERT技术,并针对医学文本的独有特性,融合学术界先进的MT-DNN(multi-task deep neural network)的思想,构建出MMT-BERT(multimodal machine translation-bidirectional encoder representations from transformers)医学语言模型,将非结构化的文本数据映射到高维内积空间中去,进而方便对文本知识进行大规模筛选以及搜索,本研究创新性地使用了Block Pooling技术,解决了不定长实体的高维空间嵌入问题;基于Mask Language Model(MLM)方法,通过实体嵌入来对遮蔽的关系和实体进行补全。该研究成果达到了国际先进水平^[27]。

2) 基于知识图谱的服务需求自动补全方法

为了协助用户完整地表达其服务需求,本文提出了一种基于知识图谱的用户需求自动补全方法。该方法首先基于离线采集的数据构建了面向医养服务资源检索的知识图谱,构建供求关系图(supply demand relation graph, SDRG);在对话在线执行的状态下,将客户的模糊需求描述转换成一个用户需求查询知识子图,并作为子图匹配算法的输入;最后,通过Q&A方式自动完成用户模糊需求的补全^[28-29]。具体步骤如图8所示。

3) 基于声效模式检测的语音识别方法

现实中,病人群体规模大且说话方式不同,产生了不同的声效模式。声效模式的改变会影响常规的语音识别系统的识别精度。为了提高智能诊断人机交互效果,本研究提出了一种基于声效模式检测的语音识别方法^[30],具体实现过程如下:

①接收语音信号;

②检测所接收语音信号的声效模式;提取语音信号的声强级、帧能量均值和频谱倾斜均值,并基于所提取的值判断所述语音信号的声效模式是否为耳语,如果是耳语则执行3);否则,检测所述语音信号中的元音,生成元音集合;将元音集合分别与多个候选声效模式进行语谱匹配,生成

每一个候选声效模式的匹配值;将匹配值最大的候选声效模式确定为语音信号的声效模式。

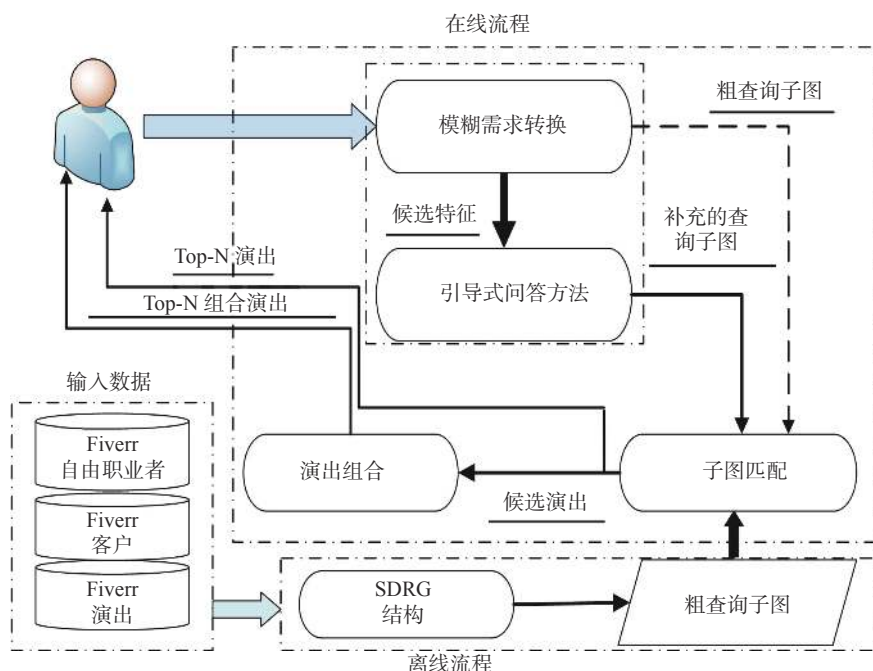


图8 用户模糊需求自动补全步骤

Fig. 8 Automatic completion of user fuzzy requirements

③从预置的声学模型集中选择所述声效模式对应的声学模型子集;

④根据所获取的声学模型子集对语音信号进行解码。

4) 基于特征融合的语音声效模式检测方法

在病人与智能诊断机器人交互时,会出现不同的声效水平,为了提高人机交互效果,本研究提出了一种谱特征和频率特征相结合的声效模式检测方法^[31]。具体步骤如下:接收语音信号;检测语音信号中的元音,生成元音集合;提取元音集合中每一个元音的谱特征矢量序列;提取元音集合中每一个元音的频率特征矢量序列;根据元音集合中每一个元音的谱特征矢量序列和频率特征矢量序列生成该元音的声效特征矢量序列;将元音集合分别与多个候选声效模式进行匹配,生成每一个候选声效模式的匹配值;将匹配值最大的候选声效模式确定为语音信号的声效模式。

5) 基于主动轮廓模型的细小血管精准检测方法

该方法通过维度拆分实现复杂的病变血管分而治之,将三维的血管图像拆分成“1+2”维;在血管结构轴线化时首先利用海森矩阵将血管构造成三维线状模型,通过高斯卷积核模拟管径不同的血管,对血管组织进行强化,降低图像噪声对病变血管的检测,解决了病变血管结构缺失和不完全检测问题^[32]。本研究提出了层级血管森林跟踪算法,对不同尺度的血管分别进行跟踪轴线化,

选取强化滤波最大值作为种子点,按照血管尺寸由大到小对血管森林进行梳理,具体如式(10)~(12)所示:

$$V_{\text{cont}} = \{(\vec{x}, s) | (\vec{x}, s) \in V_{\text{adj}}, |o(\vec{x}_i, s_i) \cdot o(\vec{x}, s)| > T_1, \text{dist}((\vec{x}_i, s_i), o(\vec{x}_i, s_i)) < T_2\} \quad (10)$$

$$V_{\text{adj}} = \{(\vec{x}, s) | M_{\text{line}}(\vec{x}, s), o(\vec{x}_i, s_i)(\vec{x} - \vec{x}_{i-1}) > 0, \text{dist}((\vec{x}_i, s_i), (\vec{x}, s)) \leq R\} \quad (11)$$

$$\text{dist}(\vec{a}, \vec{b}) = \max\{|a_1 - b_1|, |a_2 - b_2|, \dots, |a_n - b_n|\} \quad (12)$$

式中: T_1 和 T_2 为跟踪判断阈值; V_{adj} 为跟踪方向上的点集合; dist 为两点间的特征距离; $o(\vec{x}_i, s_i)$ 为当前点 \vec{x}_i 的跟踪方向; s_i 为当前跟踪尺度。该方法解决了病变血管结构缺失和不完全分割问题,通过引入轴线引导和几何形状约束策略,提高了病变血管的检测精度。

6) 基于深度学习的人体心脏房颤检测方法

心房颤动是最常见的心律失常疾病,常常诱发高死亡率疾病。传统的心房颤动检测方法需要提取手动设计特征,并且在短数据段内检测的效果有待提高。针对这些问题,本研究提出了一种基于深度学习的房颤检测新方法^[33-34]。该方法首先对原始心电信号按时间长度进行数据分段,然后对每个数据段进行带通滤波,过滤数据中的噪声;之后,对每个分段信号采用短时傅里叶变换和静态小波变换进行信号的转换,将原始的一维心电信号转换为二维信号;最后,将数据送入二维的深度卷积神经网络进行学习与分类。具体流程如图9所示。

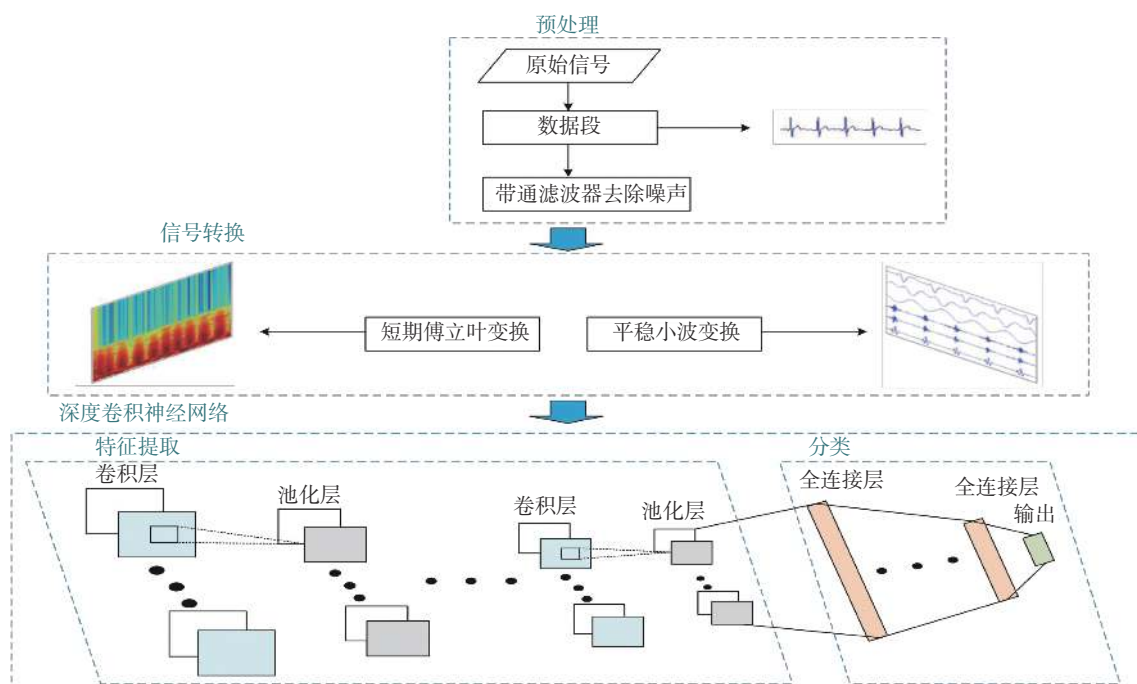


图9 基于深度学习的人体心脏房颤检测方法

Fig. 9 Detection of human atrial fibrillation based on deep learning

该方法根据卷积神经网络输入的信号不同分为两个模型,其中,DeepNet₁的输入是原始心电信号经过短时傅里叶变换处理后的信号;DeepNet₂的输入是原始心电信号经过静态小波变换处理后的信号。基于短时傅里叶变换的深度模型的最佳性能为:敏感性 98.34%,特异性 98.24%,精度 98.29%。基于小波变换的深度模型的最佳性能为:敏感性 98.79%,特异性 97.87%,精度 98.63%。

7) 基于 GPU 的三维心电生理模型并行优化方法

大规模三维虚拟心脏模型仿真需要大量的计算资源, GPU 作为一种并行计算的环境,可以满足全心脏仿真的计算需要。本研究利用三维心房模型来作为测试数据,基于 GPU 设计了一种三维心房电生理信号传导的仿真模型^[35]。在基于 GPU 架构构建的算法中,将多细胞组织仿真模型拆分为两个部分,其中一个为单细胞模型(常微分方程),另一个为单域模型的扩展模式(偏微分方程)。这种从模型层面进行解耦合的方式,使得 GPU 的并行计算过程得以高效实施。基于这种新的架构模式,取得了很大的速度性能提升。

8) 基于深度学习的肺结节检测与诊断方法

为了提高肺结节检测的准确性,本研究提出了一种基于深度学习的肺结节检测方法^[36]。该方法在自动进行肺结节检测的同时还能保持较高的精度。具体过程为:获取肺部 CT 图像;对肺部 CT 图像进行分割,得到肺实质;对肺实质图

像进行分割,得到多个肺结节候选;提取肺结节候选的灰度、形状和纹理特征;对多维的混合特征进行降维,并用混合了规则和支持向量机的分类器进行分类,达到检测肺结节的效果。具体技术路线如图 10 所示。该方法采用了基于阈值的分割方法,避免了大量繁琐的计算工作;采用迭代的方式自动获取最优阈值,比固定阈值达到更好的分割效果,提高了检测速率,降低了时间复杂度。

9) 老年人疾病智能化预测方法

基于本平台所采集的老人健康数据,本研究提出了一种基于 Naive Bayes 的老年人疾病预测模型,实现了老年人慢性病智能化预测^[37],从而可以协助老人及早预防,保障老人的健康。在该预测模型中, Naive Bayes 分类器充分利用先验信息,对异常情况的发生具有较好的自适应性。设老人电子健康档案的属性集为 $A = (\text{attr}_1, \text{attr}_2, \dots, \text{attr}_n)$, 其中 $\text{attr}_i = (\text{value}_1, \text{value}_2), i = 1, 2, \dots, n$; 预测的结果集合为 $C = (\text{Class}_1, \text{Class}_2)$, 其中 Class_1 代表老人的预测结果为患病, Class_2 代表老人的预测结果为未患病。根据贝叶斯定理可得预测老人患病的条件概率如式 (13) 所示, 由于 Naive Bayes 假设属性之间是相互独立的, 可得式 (14)。

$$p(\text{Class}_1|A) = \frac{p(A|\text{Class}_1)p(\text{Class}_1)}{p(A)} \quad (13)$$

$$p(\text{Class}_1|A) = [p(\text{attr}_1|\text{Class}_1)p(\text{attr}_2|\text{Class}_1) \cdots p(\text{attr}_n|\text{Class}_1)p(\text{Class}_1)]/p(A) \quad (14)$$

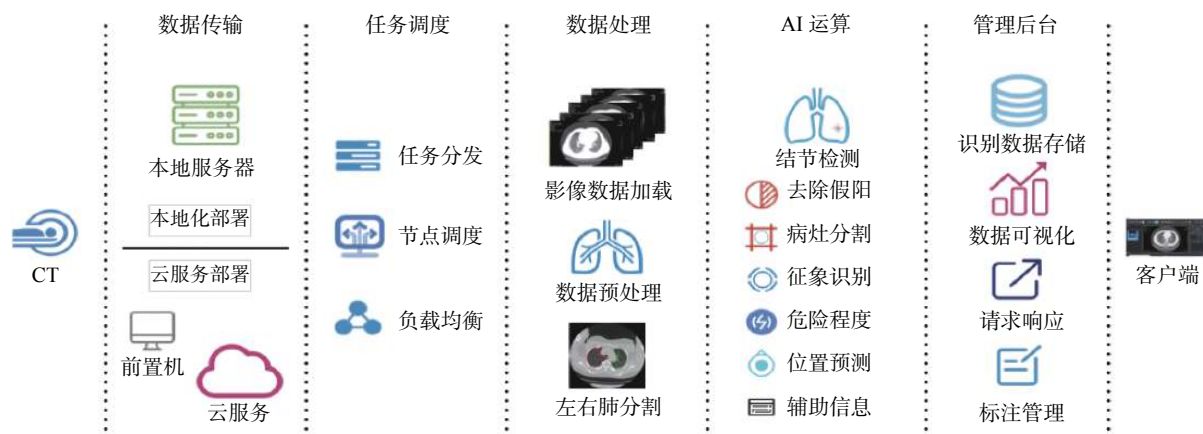


图10 基于深度学习的肺结节检测方法架构

Fig. 10 Framework of detection method for pulmonary nodules based on deep learning

预测老人未患病的概率公式为

$$p(\text{Class}_2|A) = \frac{p(A|\text{Class}_2)p(\text{Class}_2)}{p(A)} \quad (15)$$

10) 糖尿病健康大数据分析

本研究从糖尿病风险计算、糖尿病遗传因素提取、动态血糖水平预测等3个方面进行了理论方法研究以及系统研发^[38]。首先,挖掘健康数据中的规律,建立了基于支持向量机(support vector machine, SVM)的糖尿病风险计算模型;其次,为了合理利用糖尿病的遗传特征,建立一种糖尿病遗传因素提取机制,该机制结合相关的医学知识,通过追溯糖尿病家族史绘制遗传关系图,设计相应的遗传特征提取算法;最后,为了实现对糖尿病动态疾病信息的预测,将动态血糖数据进行提取和表达,并基于深度信念网(deep belief network, DBN)学习血糖时间序列,并预测未来一段时间内的血糖。

11) 颅内出血性医学影像辅助诊断技术

脑出血病灶体积的快速、精准测量是治病救人的关键。为此,本研究提出了一种基于U-Net网络的脑出血医学影像处理方法^[39-40]。U-Net结构参数少且可以通过参数调节模型大小,从而能够快速地完成脑出血血灶的分割确定。基于此方法所研发的系统能够快速实现血灶区域的分割、快速精确地计算血灶的大小和体积,为医生提供病灶可视化及辅助诊断依据。该系统还可以对硬膜外出血、脑实质内出血、脑室内出血、蛛网膜下腔出血、硬膜下出血等5种出血类型进行预测和分布估计,给临床医生展现出直观的参数,大幅度地提高了诊断速度,为抢救患者赢得宝贵时间。

基于上述成果,本研究研发了一系列智能医疗服务机器人,主要包括:全科医生诊疗机器人、高血压诊疗机器人、糖尿病诊疗机器人、医学影像辅助诊疗(肺结节、脑出血、肋骨骨折)机器人、

中医诊疗机器人等。本研究通过多种方式,将系列产品嵌入省/市/县/区人口健康信息平台,将智能辅助医疗服务嵌入到医院信息系统,并与百灵健康服务平台融合,以SaaS模式广泛地提供智能医养服务。

2.5 智能化医养融合服务平台研发

为了研制智能化医养融合服务平台,本文研究了基于多层次构件行为匹配^[41]、软件即服务(SaaS)资源管理与优化部署^[42-43]、基于微服务的开放式平台架构等技术^[44],研发了电子健康档案系统^[17]、智慧医疗健康服务系统^[45-46]、智能养老服务系统^[47]、老年健康评估系统^[48]、医养服务质量评价系统^[49]、医疗影像辅助诊断^[34,50]、远程会诊系统^[51]、基于大数据的门诊和医务管控系统^[52-53]、全科医生智能辅助诊疗系统^[54]、临床路径管理^[55]、医疗质量追溯、慢性病管理等系列软件系统等。基于上述成果,研制了支持智慧医疗、智慧健康、智慧养老、智慧管理、智能化辅助诊疗与智能化辅助决策的医养融合服务平台,如图11所示。该服务平台的主要功能可以概括为“123456X”,即一个中心(医疗健康与养老服务大数据中心)、两个资源池(医疗健康与养老服务资源池)、三大数据仓库(全员人口信息数据库、电子健康档案数据库、电子病历数据库)、四类领域服务平台(医疗、健康、养老、移动与自助服务平台)、五级服务互连网络(覆盖省、市、县、乡镇(街道)、社区、家庭的服务互连网络)、六大核心应用(智慧医疗、智慧健康、智慧养老、智慧管理、智能辅助诊疗机器人、全流程可视化管控与智能辅助决策)。该平台能够提供包括医疗、健康、康复保健以及安全看护、生活照料、紧急救援等线上线下结合的全方位“互联网+X”智能服务;解决了医养领域中“八难、六低、两差”挑战性问题。



图 11 智能化医养融合服务平台功能示意

Fig. 11 Function diagram of intelligent medical and nursing integration service platform

3 结束语

经过 10 余年的技术攻关和产品研发,本研究突破了基于双边资源整合的医养融合服务模式、智能化服务匹配、多源多模态医养大数据治理与信息物理融合、智能辅助诊疗与智能服务机器人等关键技术,研制了面向全流程、全周期的开放式智能医养融合服务平台,提升了关键技术的自主创新能力,打通了医疗健康和养老服务的堵点,实现了从传统服务到基于人工智能等新一代信息技术的智能服务升级和从传统医养分离脱节到养老、医疗、护理、康复、健康服务、关怀一体化的医养深度融合。对推动我国医疗健康与养老产业乃至现代服务业领域的技术进步有着典型的示范引领作用,也极大推动了大健康产业的快速发展。所研发中医诊疗、全科医生诊疗等智能辅助机器人、肺结节、脑出血、肋骨细小骨折等智能辅助诊疗系统在基层医养服务机构的应用,以及“互联网+医疗健康”和“互联网+养老”智能医养服务融合系统,实现了优质医疗资源的下沉,大幅提升医护人员的工作效率,解决了基层医生特别是乡村医生诊断能力不足等问题,有效缓解了基层优质医疗资源不足、百姓看病难等问题。

本文研究成果广泛应用于国内 1 000 余家医院与养老服务机构,累计销售收入超过 20 亿元,累计服务 5 亿余人次,覆盖约 2 亿人;入选国家发

改委“互联网+健康服务百佳实践”案例,打造了“平阴模式”、“淄博模式”等。成果第一完成单位山东众阳健康科技集团有限公司荣获“国家级智慧健康养老示范企业”。2020 年新冠疫情期间,本成果在山东、安徽、河南、黑龙江等 20 多个省份的 800 余家医院紧急上线了基于微信公众号的患者智能服务系统,为全国抗击新冠疫情做出了重要贡献,得到了科技部和工信部的表彰。

参考文献:

- [1] CHU Dianhui, WANG Zhongjie, XU Xiaofei. A classification framework of service composition issues in BIRIS scenario[C]//Proceedings of 2011 International Joint Conference on Service Sciences. Taipei, China, 2011: 183-187.
- [2] CHU Dianhui, WANG Zhongjie, XU Xiaofei, et al. Progressive service value network design for Bi-lateral service applications[J]. *Information technology journal*, 2013, 12(6): 1152-1159.
- [3] 初佃辉,王显志,王忠杰,等. 面向个性化需求的虚拟服务资源整合方法[J]. *计算机学报*, 2011, 34(12): 2370-2380.
CHU Dianhui, WANG Xianzhi, WANG Zhongjie, et al. Personalized requirement oriented virtual service resource aggregation method[J]. *Chinese journal of computers*, 2011, 34(12): 2370-2380.
- [4] 邵明顺. 面向养老服务领域的双边资源整合模式与资源

- 虚拟化技术[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016: 1-105.
- SHAO Mingshun. Bilateral resource integration mode in the field of elderly care service and resource virtualization technology[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016: 1-105.
- [5] 耿楚惠. 基于情境感知的养老服务需求发现方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019: 1-80.
- GENG Chuhui. Research on context awareness based demand discovery method for pension service[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019: 1-80.
- [6] 甄卓然. 基于知识图谱的养老服务需求感知系统设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018: 1-81.
- ZHEN Zhuoran. Design and implementation of demand awareness system for pension service based on knowledge graph[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018: 1-81.
- [7] 卜云飞. 面向养老服务的推荐方法研究及应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017: 1-77.
- BU Yunfei. Research and application of recommendation methods on elderly care services[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017: 1-77.
- [8] DONG Xinxin, LI Chunshan, CHU Dianhui. A recommendation of pension service based on trusted network[C]//Proceedings of 2017 IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications and 2017 IEEE International Conference on Ubiquitous Computing and Communications (ISPA/IUCC). Guangzhou, China, 2017: 1251-1255.
- [9] 张恺琪. 基于深度学习与多目标优化的养老服务推荐方法及实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019: 1-75.
- ZHANG Kaiqi. Recommendation method and implementation of old-age service based on deep learning and multi-objective optimization[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019: 1-75.
- [10] WANG Z, CHU D, XU X. Personal service socio-environment (PSE 2): a user-centric services computing paradigm[C]//International Conference on Exploring Services Science. Springer, Cham, 2016: 141-154.
- [11] 张恺琪. 基于深度学习与多目标优化的医养服务推荐方法[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019: 1-75.
- ZHANG Kaiqi. Recommendation method and implementation of old-age service based on deep learning and multi-objective optimization[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019: 1-75.
- [12] WANG Zhongjie, CHU Dianhui, XU Xiaofei. Personal service eco-environment (PSE²): a user-centric services computing paradigm[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Exploring Services Science. Bucharest, Romania, 2016: 141-154.
- [13] 刘志中, 王俊峰, 张维怡, 等. 一种资源与 QoS 感知的服务优化组合方法[P]. 中国: 201710091325.9, 2017-02-21.
- LIU Zhizhong, WANG Junfeng, ZHANG Weiyi, et al. Service optimal combination method for resources and QoS (Quality of Service) perception[P]. CN: 201710091325.9, 2017-02-21.
- [14] LIU Zhizhong, JIA Zongpu, XUE Xiao, et al. Reliable Web service composition based on QoS dynamic prediction[J]. *Soft computing*, 2015, 19(5): 1409-1425.
- [15] LIU Zhizhong, CHU Dianhui, SONG Cheng, et al. Social learning optimization (SLO) algorithm paradigm and its application in QoS-aware cloud service composition[J]. *Information sciences*, 2016, 326: 315-333.
- [16] 刘志中, 赵珊, 张维怡, 等. 一种基于改进社会学习算法的云任务调度方法[P]. 中国: 201710387503.2, 2017-05-25.
- LIU Zhizhong, ZHAO Shan, ZHANG Weiyi, et al. Cloud task scheduling method based on improved social learning algorithm[P]. CN: 201710387503.2, 2017-05-25.
- [17] LIU Zhizhong, CHU Dianhui, JIA Zongpu, et al. Two-stage approach for reliable dynamic Web service composition[J]. *Knowledge-based systems*, 2016, 97: 123-143.
- [18] 吴军, 高希余, 桑波, 等. 众阳居民电子健康档案信息管理系统[P]. 中国: V1.0.2015SR058242, 2015-04-01.
- WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Zhongyang Residents electronic health record information management system[P]. CN: V1.0.2015SR058242, 2015-04-01.
- [19] 吴军, 高希余, 赵华桥, 等. 数据路由方法、数据路由网络及其数据访问方法、系统[P]. 中国: 201810879917.1, 2018-11-13.
- WU Jun, GAO Xiyu, ZHAO Huaqiao, et al. Data routing method, data routing network and data access method and system[P]. CN: 201810879917.1, 2018-11-13.
- [20] 吴军, 高希余, 赵华桥, 等. 一种数据加密、数据验证方法及其系统[P]. 中国: 201811295947.4, 2018-11-01.
- WU Jun, GAO Xiyu, ZHAO Huaqiao, et al. Data encryption and data verification method and system[P]. CN: 201811295947.4, 2018-11-01.
- [21] 吴军, 宋伟, 高希余, 等. 基于原始诊断数据的疾病分类编码方法及系统[P]. 中国: 201711013514.0, 2017-10-25.
- WU Jun, SONG Wei, GAO Xiyu, et al. Disease classification encoding method and system based on original diagnosis data[P]. CN: 201711013514.0, 2017-10-25.
- [22] 吴军, 宋伟, 高希余, 等. 基于原始诊断数据和病历文件数据的疾病编码方法及系统[P]. 中国: 201711008899.1, 2018-02-23.
- WU Jun, SONG Wei, GAO Xiyu, et al. Disease coding method and system based on original diagnosis data and case history file data[P]. CN: 201711008899.1, 2018-02-23.
- [23] 吴军, 宋伟, 高希余, 等. 疾病自动编码方法及系统[P]. 中国: 201711013515.5, 2017-10-25.
- WU Jun, SONG Wei, GAO Xiyu, et al. Automatic dis-

- ease coding method and system[P]. CN: 201711013515.5, 2017-10-25.
- [24] 张述睿, 吴军, 樊昭磊, 等. 一种基于深度学习的 ICD 手术与操作编码自动匹配方法 [P]. 中国: 201911271626.5, 2019-12-12.
- ZHANG Shurui, WU Jun, FAN Zhaolei, et al. ICD surgery and operation code automatic matching method based on deep learning[P]. CN: 201911271626.5, 2019-12-12.
- [25] HU Xin, LI Zhengzuo, DAI Ruixuan, et al. Coarse-to-fine activity annotation and recognition algorithm for solitary older adults[J]. IEEE access, 2019, 8: 4051–4064.
- [26] DING Renjie, LI Xue, NIE Lanshun, et al. Empirical study and improvement on deep transfer learning for human activity recognition[J]. Sensors, 2018, 19(1): 57.
- [27] LIU Xingkun, TU Zhiying, WANG Zhongjie, et al. A crowdsourcing-based knowledge graph construction platform[C]//Proceedings of 2020 AIOps, CFTIC, STRAPS, AI-PA, AI-IOTS, and Satellite Events, Dubai, United Arab Emirates Service-Oriented Computing. Dubai, United Arab Emirates, 2020: 1–8.
- [28] TU Zhiying, XU Xiaofei, ZHANG Qian, et al. Gig services recommendation method for fuzzy requirement description[C]//Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Web Services. Honolulu, HI, USA, 2017: 620–627.
- [29] TIAN Junrui, TU Zhiying, WANG Zhongjie, et al. User intention recognition and requirement elicitation method for conversational AI services[C]//Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Web Services (ICWS). Beijing, China, 2020: 273–280.
- [30] 晁浩, 智慧来, 刘志中, 等. 一种基于声效模式检测的语音识别方法 [P]. 中国: 201610299376.6, 2016-05-05.
- CHAO Hao, ZHI Huilai, LIU Zhizhong, et al. Voice identification method based on sound effect mode detection[P]. CN: 201610299376.6, 2016-05-05.
- [31] 晁浩, 智慧来, 刘永利, 等. 一种基于特征融合的语音声效模式检测方法 [P]. 中国: 201710172671.X, 2017-03-21.
- CHAO Hao, ZHI Huilai, LIU Yongli, et al. Voice sound effect mode detection method based on characteristic fusion[P]. CN: 201710172671.X, 2017-03-21.
- [32] CHENG Yuanzhi, HU Xin, WANG Ji, et al. Accurate vessel segmentation with constrained B-snake[J]. [IEEE transactions on image processing](#), 2015, 24(8): 2440–2455.
- [33] XIA Yong, WULAN Naren, WANG Kuanquan, et al. Detecting atrial fibrillation by deep convolutional neural networks[J]. Computers in biology and medicine, 2018(93): 84–92.
- [34] 夏勇, 乌兰娜仁, 王宽全, 等. 基于深度卷积神经网络的心电数据数字信号处理方法 [P]. 中国: 201710321707.6, 2017-05-09.
- XIA Yong, WULAN Naren, WANG Kuanquan, et al. Digital signal processing method of ECG data based on deep convolutional neural network[P]. CN: 201710321707.6, 2017-05-09.
- [35] YU Shui, ZHANG Shanzhuo, WANG Kuanquan, et al. An efficient and fast GPU-based algorithm for visualizing large volume of 4D data from virtual heart simulations[J]. Biomedical signal processing and control, 2017(35): 8–18.
- [36] 吴军, 高希余, 桑波, 等. 众阳医疗影像辅助诊断系统 [P]. 中国: V1.0.2018SR965448, 2018-12-03.
- WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Zhongyang medical imaging aided diagnosis system[P]. CN: V1.0.2018SR965448, 2018-12-03.
- [37] LI Guoru, ZHENG Hongzhen, CHU Dianhui, et al. IEDPS: intelligent elderly disease prediction system[J]. International journal of internet manufacturing and services, 2018, 5(2/3): 232–244.
- [38] 王瑶. 糖尿病健康数据分析方法及应用 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017: 1–71.
- WANG Yao. Diabetes health data analytic methodology and application[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017: 1–71.
- [39] 吴军, 高希余, 桑波, 巩玉强, 樊昭磊. 众阳医学影像云三维重建系统 [P]. 中国: V1.0.2016SR204533. 2016-06-16.
- WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Zhongyang medical image cloud 3D reconstruction system[P]. CN: V1.0.2016SR204533. 2016-06-16.
- [40] 初佃辉, 孟凡超, 战德臣, 等. 基于有限自动机的多层次构件行为匹配模型 [J]. 软件学报, 2011, 22(11): 2668–2683.
- CHU Dianhui, MENG Fanchao, ZHAN Dechen, et al. Multi-level component behavior matching model based on finite automata[J]. Journal of software, 2011, 22(11): 2668–2683.
- [41] ZHANG Xiaodong, ZHAN Dechen, CHU Dianhui. SaaS resource management model and architecture research[J]. The open cybernetics & systemics journal, 2015, 9(1): 433–442.
- [42] QIAN Bin, MENG Fanchao, CHU Dianhui. A cost-driven multi-objective optimization algorithm for SaaS applications placement[C]//Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Smart City/SocialCom/Sustain-Com (SmartCity). Chengdu, China, 2015: 1086–1091.
- [43] 初佃辉, 涂志莹, 胡鑫, 等. HIT-ICES 云服务平台服务构件管理系统 [P]. 中国: 2016SR214215, 2016-01-30.
- CHU Dianhui, TU Zhiying, HU Xin, et al. HIT-ICES cloud service platform service component management system[P]. CN: 2016SR214215, 2016-01-30.
- [44] 吴军, 高希余, 桑波, 等. 智慧医养服务平台 [P]. 中国:

- V1.0.2017SR488952, 2017-09-05.
WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Smart medical care service platform[P]. CN: V1.0.2017SR488952, 2017-09-05.
- [45] 吴军, 高希余, 桑波, 等. 众阳健康服务平台 [P]. 中国: V1.0.2017SR675136, 2017-12-08.
WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Zhongyang health service platform[P]. CN: V1.0.2017SR675136, 2017-12-08.
- [46] 初佃辉, 涂志莹, 胡鑫, 等. HIT-ICES 智慧养老服务平台系统软件 [P]. 中国: 2018SR329787, 2018-05-11.
CHU Dianhui, TU Zhiying, HU Xin, et al. HIT-ICES smart elderly care service platform system software[P]. CN: 2018SR329787, 2018-05-11.
- [47] 初佃辉, 涂志莹, 胡鑫, 等. HIT-ICES 老年人健康电子数据管理分析系统软件 [P]. 中国: 2017SR192935, 2017-05-22.
CHU Dianhui, TU Zhiying, HU Xin, et al. HIT-ICES elderly health electronic data management and analysis system software[P]. CN: 2017SR192935, 2017-05-22.
- [48] 初佃辉, 涂志莹, 胡鑫, 等. HIT-ICES 社区养老服务质量评价系统 [P]. 中国: 2017SR462110, 2017-08-22.
CHU Dianhui, TU Zhiying, HU Xin, et al. HIT-ICES community elderly care service quality evaluation system[P]. CN: 2017SR462110, 2017-08-22.
- [49] 吴军, 高希余, 桑波, 等. 远程智慧医学平台系统 [P]. 中国: V1.0.2016SR013471, 2016-01-19.
WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Remote smart medical platform system[P]. CN: V1.0.2016SR013471, 2016-01-19.
- [50] 吴军, 高希余, 桑波, 等. 众阳基于大数据的医院管控平台院长管控系统 [P]. 中国: V1.0.2016SR323452, 2016-09-02.
WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Zhongyang hospital control platform dean control system[P]. CN: V1.0.2016SR323452, 2016-09-02.
- [51] 吴军, 高希余, 桑波, 等. 众阳基于大数据的医院管控平台临床科室主任管控系统 [P]. 中国: V1.0.2016SR327648, 2016-07-05.
WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Zhongyang hospital control platform clinical department director control system[P]. CN: V1.0.2016SR327648, 2016-07-05.
- [52] 吴军, 高希余, 桑波, 等. 众阳全科医生诊疗机器人系统 [P]. 中国: V1.0.2018SR967459, 2018-12-03.
WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Zhongyang general practitioner medical robot system[P]. CN: V1.0.2018SR967459, 2018-12-03.
- [53] 吴军, 高希余, 巩玉强. 众阳临床路径管理系统 [P]. 中国: V1.0.2011SR070884, 2011-09-29.
WU Jun, GAO Xiyu, GONG Yuqiang. Zhongyang clinical path management system[P]. CN: V1.0.2011SR070884, 2011-09-29.
- [54] 吴军, 高希余, 桑波, 等. 众阳医疗质量追溯管理系统 [P]. 中国: V1.0.2013SR085875, 2013-08-16.
WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Zhongyang medical quality traceability management system[P]. CN: V1.0.2013SR085875, 2013-08-16.
- [55] 吴军, 高希余, 桑波, 等. 慢病管控平台系统 [P]. 中国: V1.0.2016SR330216, 2016-11-15.
WU Jun, GAO Xiyu, SANG Bo, et al. Chronic disease management and control platform system[P]. CN: V1.0.2016SR330216, 2016-11-15.

作者简介:



初佃辉, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为服务计算、智慧养老、人工智能、云计算、工业互联网。荣获第十届吴文俊人工智能科技进步一等奖、航天工业总公司科技进步三等奖、获“威海市优秀青年科技人才”称号。主持国家 863 计划项目、山东省重大科技攻关、山东省自然科学基金项目、山东省自主创新工程重大专项等 10 余项。发表学术论文 50 余篇。



吴军, 山东众阳健康科技集团董事长, 主要研究方向为智能化医疗服务系统、智能化医疗诊断技术。获“山东省优秀企业家”称号, 医养健康数字经济领域领军人物, 获山东省科技进步一等奖、吴文俊人工智能科技进步一等奖, 所在的山东众阳健康科技集团有限公司, 先后获评国家级“智慧健康养老示范企业”、山东省医养健康产业龙头企业、山东省“十强”产业集群领军企业、山东省十佳“瞪羚企业”等; 带领企业打造了智慧健康的“平阴模式”“淄博模式”, 成为国家级示范工程。获授权发明专利 10 余项、获软件著作权 30 余项。



刘志中, 副教授, 博士, 主要研究方向为服务计算、智能服务、人工智能。获吴文俊人工智能科技进步一等奖 (名次 3/14)、河南省自然科学二等奖 (名次 5/5)。主持及参与国家自然科学基金项目 6 项, 主持山东省自然科学基金重点项目 1 项, 获发明专利授权 6 项。发表学术论文 30 余篇。