



基于人工智能的预测与决策优化理论和方法研究

余乐安^{1,2,3}

1 中国科学院大学 魏桥国科联合实验室, 北京 100190

2 北京化工大学 经济管理学院, 北京 100029

3 滨州魏桥国科高等技术研究院, 山东 滨州 256600

摘要: 数据-预测-决策是当前管理科学领域进行科学决策的主要模式,而人工智能的出现使数据处理效率更加完善、决策场景预测更加精准、决策结果优化更加智能,其核心优势在于实现了数据-预测-决策的高效转化。在分析国内外研究现状和发展态势基础上,聚焦人工智能驱动下管理预测与决策优化理论和方法,提出在该领域要开展五大方向的相关研究,即人工智能驱动决策范式转变机理研究、数据特征驱动的人工智能预测理论和方法研究、数据特征驱动的人工智能决策优化理论和方法研究、领域知识依赖的人工智能预测与决策理论和应用研究、可解释人工智能系统预测与决策优化理论和应用研究。针对每个研究方向,给出相应的研究背景和研究对象,并在此基础上列举了若干典型科学问题。希望能够推动与基于人工智能的预测与决策优化理论和方法相关的研究探索与实践发展。

关键词: 人工智能;管理预测;决策优化;数据特征;领域知识;可解释性

中图分类号: C931.1

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2022.01.007

文章编号: 1672-0334(2022)01-0060-07

引言

决策是在特定场景下分析、比较若干可行方案并选定最优方案的过程,而预测本质是通过对预测对象历史记录、内在机理以及演进模式的分析、辨识和刻画,实现更大概率地描述预测对象在未来时间窗口的状态、特征和发展趋势的过程,它是判断决策优化场景出现的前提条件,其目标是为科学决策提供依据,进而提高决策的效益和效率。数据-预测-决策是当前管理科学领域进行科学决策的主要模式,而人工智能的出现使数据处理效率更加完善、决策场景预测更加精准、决策结果优化更加智能,其核心优势在于实现了数据-预测-决策的高效转化。人类社会迈入大数据时代,为科学预测与决策优化提供了更多种类、更多来源、更多维度、更大体量、更宽尺度和更快时效的数据。大数据背景下的人工

智能虽然没有改变预测与决策的逻辑本质,但是在处理海量数据、捕捉低价值密度数据中的有效信息、处理更多类型数据、实时动态处理在线信息、拟合非线性数据等角度,弥补了传统预测范式的不足,优化了预测与决策场景的速度和精度,最终提升决策效率和效果。基于人工智能的预测与决策优化理论和方法研究正是以大数据时代背景下的预测支撑决策活动的本质规律作为研究对象的管理科学新领域,是人工智能引发科学突破的链式反应在预测、决策、优化3个管理科学和应用数学基础研究领域的重要学科前沿命题,是催生一批预测科学和决策科学颠覆性理论和方法的理论基石。

如今人工智能已经成为国家战略,基于人工智能的预测与决策优化理论和方法研究顺应国家战略需求,是人工智能发展的重要内容和关键应用。为抢

收稿日期: 2021-10-10 **修返日期:** 2021-12-20

基金项目: 国家自然科学基金(71940002)

作者简介: 余乐安,管理学博士,中国科学院大学魏桥国科联合实验室、北京化工大学经济管理学院和滨州魏桥国科高等技术研究院教授,研究方向为商务智能、大数据挖掘、经济预测与决策分析等,代表性学术成果为“Online big data-driven oil consumption forecasting with Google trends”,发表在2019年第1期《International Journal of Forecasting》, E-mail: yulean@amss.ac.cn

抓人工智能发展的重大战略机遇, 构筑中国人工智能发展的先发优势, 加快建设创新型国家和世界科技强国, 2017 年 7 月 8 日, 国务院印发了《新一代人工智能发展规划》, 对中国人工智能发展做出总体部署。2018 年政府工作报告明确提出“加强新一代人工智能研发应用”。2018 年 5 月 28 日, 习近平总书记在两院院士大会上强调, 要以信息化、智能化为杠杆培育新动能, 推进互联网、大数据、人工智能同实体经济深度融合。基于人工智能的预测与决策优化理论和方法研究聚焦于管理科学基础研究和共性关键技术, 其核心是将人工智能作为预测与优化的重要基础, 以此实现更加科学的预测与决策, 相关研究成果将推动人工智能与中国政府治理能力和企业经营管理能力建设的深度融合, 为科学管理赋能, 开拓管理科技创新的新局面。基于人工智能的预测与决策优化理论和方法研究着力将人工智能的应用目标更加明确化, 推动人工智能与预测科学、决策科学、优化科学等相关学科的交叉融合, 同时为人工智能持续发展和深度应用提供强大的科学储备, 这无疑对构筑人工智能发展新时代的国家战略具有重要意义。

1 国内外研究现状和发展态势

当前, 基于人工智能的预测与决策优化已经成为全球信息科技领域中的热点, 引起国内外学术界和产业界的广泛关注。从全球人工智能国家战略规划发布态势看, 北美、东亚和西欧是人工智能发展最为活跃的地区。2013 年英国政府将人工智能列为 8 项伟大的科技计划之后, 2016 年进一步发布《人工智能对未来决策的机会和影响》报告, 呼吁充分利用人工智能技术辅助行为决策; 2016 年, 美国发布《国家人工智能研究与发展战略规划》; 中国、日本、英国和加拿大紧跟美国其后, 于 2017 年将人工智能上升至国家战略; 德国和韩国等相继于 2018 年和 2019 年发

布了国家人工智能战略。

从科学研究的角度看, 2015 年《Nature》杂志为纪念人工智能诞生 60 周年专门推出“人工智能+ 机器人”专题, 涉及多个应用领域^[1-2]。近年来, 运用人工智能技术进行预测与决策优化已引起学者广泛研究兴趣^[3-5], 《Nature》和《Science》发表了多篇基于人工智能进行科学预测与决策分析的论文, 特别是《Science》推出“prediction”专题, 解读人工智能在预测领域的研究进展和面临的挑战。在 Web of Science 数据库检索人工智能相关主题“artificial intelligence(AI)”和“machine learning”, 结果表明从 2016 年至 2020 年全球共发表人工智能领域学术论文 226 474 篇, 内容既包括深度学习^[2,6]、数据挖掘^[7]和机器学习^[8]等前沿理论研究, 又涉及制造^[9]、交通^[10]、医疗^[11]、金融^[12]、教育^[13]和传媒^[14]等多个领域的应用探索。其中, 包含“预测(prediction)”和“优化(optimization)”两个主题的文献分别为 50 583 篇和 38 917 篇, 占 22.335% 和 17.184%。同样, 在中国知网上搜索与“人工智能”相关的关键词“机器学习”“大数据”“深度学习”, 结果表明 2016 年至 2020 年共发表 39 028 篇论文; 从 CSSCI 和 CSCD 索引数据库中搜索论文标题中包含“人工智能”的情况看, 2015 年至 2019 年公开发表的中文学术论文共有 1 874 篇, 其中近 5 年发表 1 795 篇; 同时, 基于人工智能的预测预警与决策优化等内容的主题检索, 中文研究成果共有 30 篇。通过对上述文献中相关领域论文的分析, 可以发现已有研究还存在如下不足和难点问题。

(1) 虽然现有研究已经利用人工智能方法研究许多预测与决策相关问题, 但还没有系统地从原理上研究人工智能场景下数据 - 预测 - 决策模式的转变机理。

(2) 对于预测与决策优化问题, 已有研究经历了经验驱动 - 模型驱动 - 数据驱动 - 数据特征驱动 4 个不同的研究范式, 具体区别见表 1, 对前 3 种范式

表 1 4 种不同的预测与决策优化研究范式对比

Table 1 Comparisons of Four Different Research Paradigms of Forecasting and Decision Optimization

研究范式	经验驱动	模型驱动	数据驱动	数据特征驱动
建模任务	经验总结提炼	优化机理结构	预测未来趋势	预测未来趋势
模型特征	经验规则	不确定性决策	预先定义模型	基于数据本身特征进行模型选择
可解释性	白箱	白箱	黑箱	黑箱
优点	结论直接、高阶, 有一般性	结论直接、高阶, 有一般性	数据涌现, 结论间接、低阶	模型与数据适配, 结论间接、低阶
缺点	结论特殊, 无一般性	模型假设较多, 有现实鸿沟	抽样导致分布外样本、缺乏高阶解释, 且预先定义模型不一定与数据适配	抽样导致分布外样本、缺乏高阶解释

已经进行大量研究,但数据特征驱动范式是对数据驱动范式的细化,尚在不断发 展之中,近年来成为一个热点研究方向。因此,数据特征驱动的智能预测与决策优化需要进一步深入探索。

(3)已有研究对于智能预测与决策优化的研究,显性领域知识已经广泛应用在智能预测和智能决策优化问题中,但其预测精度和决策准确度方面尚有进一步提升的空间,从而隐性的领域知识应用就显得尤为重要。因此,如何发现并表征隐性知识并根据领域知识特征选择不同的智能预测与决策算法,以及如何发挥不同领域知识依赖的智能算法优势提升预测精度和决策优化效果是当前亟待解决的科学难题。

(4)已有研究大多从人工智能算法本身可解释性视角开展可解释性人工智能相关研究,但本研究基于智能预测与决策优化可解释性需要,同时考虑人工智能算法本身的可解释性、针对领域问题场景本身的可解释性、智能化方法预测决策情景辅助决策过程的可解释性、特定决策场景预测与决策优化结果的可解释性等多个方面。因此,从单一视角的人工智能算法可解释性扩展到针对现实预测与决策问题场景中人工智能模型的多方位可解释性,是另一个亟待突破的科学难题。这些难题和不足需要进一步深入研究和探讨。

从产业发展角度看,人工智能的发展使产业界的生态发生了根本性改变。随着人工智能全面步入商业化阶段,企业数字化和智能化趋势日益明显,信息利用效率显著提升,人工智能技术被广泛应用于解决实际的预测与决策优化问题。

综上所述,无论是从全球人工智能国家战略规划发布态势的角度,还是从科学研究和产业发展的视角,基于人工智能的管理预测与决策优化的相关方向已经得到国家、产业、企业和学术界的高度重视和推进,并已取得较大的研究进展。预计在不远的未来,随着人工智能技术的飞速发展,将极大地推动管理预测与决策优化理论和方法的飞跃。

2 中国发展智能预测与优化理论的基础和优势

近年来,人工智能作为新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力,是中国国家战略从信息化提升到智能化的重要依托。当前,开放的市场环境、海量的数据资源、强有力的战略引领和政策支持以及丰富的应用场景使中国发展基于人工智能的预测与决策优化理论和方法具有得天独厚的资源优势。①在国家层面,人工智能得到高度关注,2017年中国将发展人工智能和5G上升至国家战略的高度,并提出将在2030年把中国打造成为世界主要人工智能创新中心。同时,在政策方面对人工智能加码支持,将大力推动基于人工智能的预测与决策优化理论和方法研究,这是其他国家无法比拟的。②中国在互联网和物联网方面领先的大数据优势,为基于数据驱动的人工智能预测与决策优化体系研究带来了数据积累优势;

同时,中国是最早将5G商用服务落地的国家之一,5G带来的不仅是更快的速度和海量的数据,它还是驱动人工智能技术的有力引擎——工业互联网、物联网、车联网等人工智能应用场景都离不开5G的支持。2019年美国科技智库数据创新中心发布的报告表明,在数据和商业化应用方面,中国应用人工智能的企业占32%,在全球居首位;而计算机视觉、自然语言处理、机器学习专利授权总量已居世界第一。③中国具有丰富的应用场景优势,在智能制造、智慧城市、智慧旅游、智慧医疗、智慧教育等领域都有丰富的实践场景,为基于人工智能的预测与决策优化理论和方法突破提供了应用基础。持续增长的海量数据和日益积累的新兴技术,再加上中国巨大的应用需求和开放的市场环境,形成了中国人工智能独特的发展优势。这些独特优势为中国学者深入拓展基于人工智能的预测与决策优化理论和方法及应用提供了研究机会。

从学术研究角度看,基于人工智能的预测与决策优化理论和方法研究得到中国学者的高度重视。在Web of Science数据库检索“Artificial intelligence (AI)”和“Machine learning”相关主题,结果表明中国学者共发表51 316篇论文,高居榜首,其中高被引论文835篇,远高于排名第二位的美国,美国发表论文46 787篇,高被引论文663篇。在全球最大的出版商Elsevier期刊数据库Science Direct以“Artificial Intelligence”为主题的检索发现,在2015年至2019年共发表4 059篇论文,其中中国学术机构发表论文为608篇,占比将近15%。而进一步在基于人工智能的预测与决策优化研究方面,涉及“Prediction”“Forecasting”“Decision making”主题关键词内容的论文共1 201篇,其中中国学术机构共发表186篇,占比达到15.487%。同时,在专利方面,中国已经成为全球人工智能专利布局最多的国家,排名第二和第三位的分别是美国和日本。

3 主要研究方向和典型科学问题

3.1 主要研究方向简介

针对第1部分总结的已有研究不足和难点问题,梳理出未来可进一步开展的五大研究方向:①人工智能驱动决策范式转变机理研究,②数据特征驱动的人工智能预测理论和方法研究,③数据特征驱动的人工智能决策优化理论和方法研究,④领域知识依赖的人工智能预测与决策理论和应用研究,⑤可解释人工智能系统预测与决策优化理论和应用研究。在这五大研究方向中,第1个方向属于人工智能驱动决策的基础理论研究,重点研究人工智能背景下决策范式由被动型场景应对决策向主动型场景预见决策转变的机理;第2个和第3个方向重点从数据特征驱动的角度,开展人工智能预测与决策理论、方法、技术和应用研究;第4个方向从领域知识驱动的视角,开展人工智能预测与决策理论、方法、技术和应用研究;第5个方向从预测与决策可解释性的角度,开

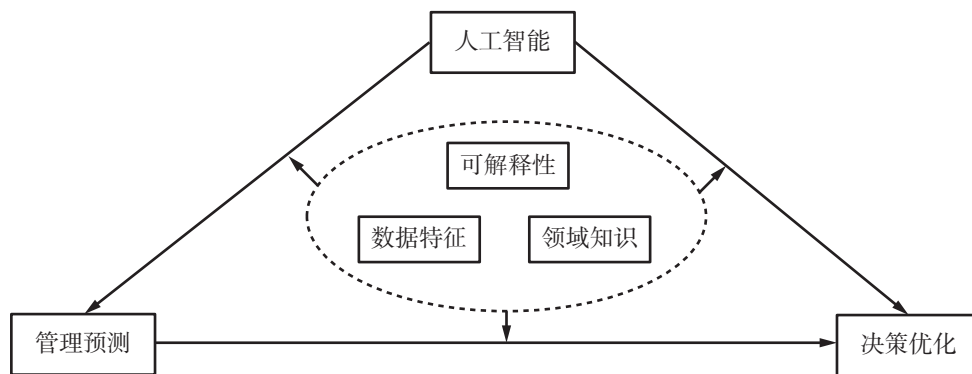


图1 研究方向逻辑关系

Figure 1 Logic Relationship of Research Directions

展可解释人工智能预测与决策理论、方法、技术和应用研究。五大研究方向的逻辑关系见图1。

3.2 主要研究方向1: 人工智能驱动决策范式转变机理研究

随着互联网的普及、传感网的渗透、大数据的涌现、信息社区的崛起,人工智能通过特定模型和程序采集人类社会以及信息世界和物理世界的全方位数据,将数据-预测-决策的模式变得更加精准、迅速、智能。将人工智能技术全面客观的预测和人类的常识先验与隐式直觉有效结合起来,借助人工智能信息采集种类和阈限上的优势克服传统决策的情绪化和片面化的弱势,从表象和特征深入到综合推理,助力决策者从大量非结构化数据中洞察隐藏的规律,更准确、更客观地提供决策思路。基于人工智能带来的上述改变,决策将更加依靠大数据而非经验。这不仅提高决策精准度,更打破有限理性和满意即可的决策前提,使决策逐渐趋向极限理性和最优化决策。因此,决策将从以流程为主的线性范式逐渐向以数据为中心的扁平化范式转变,决策参与方的角色和信息流向趋于多元化、动态化和交互化。传统决策范式可为解决结构化问题提供支持,但在处理非规范化模型场景方面存在不足。人工智能正适合辅助非规范化动态的决策场景,通过人机交互提高决策支持过程中决策辅助手段的主动性、知识性、动态性、预见性、确定性和趋同性,完善支撑决策的数据处理、场景预测、效果评价和结果优化等功能,为智能决策新范式提供支持。人工智能背景下,决策范式由被动型场景应对决策向主动型场景预见决策转变,这种转变中的机理尚不明确,亟须人工智能驱动决策范式转变机理的深入研究和探索。

典型科学问题举例:有限可靠性和极限理性情形下的管理决策形态,人工智能驱动下的决策范式转变的要素关系和路径,复杂社会网络下的信息扩散模式和预测决策机制,人工智能驱动的预见型决策机制,人工智能驱动动态决策模式,人工智能驱动的全景式决策理论,多主体共创和协调管理模式,网络舆情数据驱动的智慧化决策机理,智慧化网络决策方法,大群体智慧化决策方法,不确定性信息融合决

策方法,管理与决策模式转变方法和风险等。

3.3 主要研究方向2: 数据特征驱动的人工智能预测理论和方法研究

作为科学决策的前提和基础,及时准确地预测具有十分重要的研究意义。不论是自然物质世界的运行还是经济社会活动的发展,决定其运行发展模式和结果的因素错综复杂,并相应积累了大量的领域数据,这些数据中的典型特征蕴含着支撑决策场景预测的行为规律。例如,金融领域中的股票指数与股价变化规律、旅游领域中的景区游客需求变化规律、工商领域中的企业生存和运营绩效变化规律、电商领域中消费者评论和顾客互动规律、电力领域中的家庭用电消费规律、能源领域中的原油需求与价格变化规律等。这些不同领域的数据在时间维度、空间维度、类型维度、容量维度和响应维度等方面具有不同的特征。在这些数据中,有些数据具有本质生成特征,需要差分平稳;有些数据具有时序特征,需要处理前期状态;有些数据具有面板特征,需要情景评价;有些数据具有模式特征,需要模态分解;有些数据具有动态特征,需要处理概念漂移。因此,洞察并准确刻画这些数据特征,提升对未来可能发生的情况进行准确推演和预测的能力,是摆在科学家和行业专家面前的重要课题。在过去几十年中,传统的统计学和计量经济学方法是预测领域的主要方法,可以对线性或接近线性的问题给出较好的预测结果,并能对预测结果做出一定的经济解释。但随着互联网大数据的飞速增长,亟须发展数据特征驱动的人工智能预测理论和方法,以突破高维性、复杂性和非线性等预测难题。一般而言,预测技术的开发离不开两个基本技术要素,即数据表示和建模技术。基于数据特征驱动的人工智能预测理论和方法研究,就是从抓住数据特征作为信息和规律的载体,利用人工智能技术的强大逻辑推演、函数逼近、特征识别和数理空间搜索等能力,构建一套基于数据特征驱动的人工智能预测理论研究的方法论体系和技术应用框架。

典型科学问题举例:多源异构数据融合方法,数据特征的检测和识别方法,数据特征的构建和表征

方法,复杂结构数据分层预测理论,数据特征驱动的集成学习理论和方法,数据特征驱动的功能互补混合预测方法,数据特征驱动的堆栈式集成预测,时间序列的分解集成预测理论,多源、多特征融合的预测方法,稀疏特征驱动的人工智能预测方法,高维性特征驱动的人工智能预测方法,小样本特征驱动的人工智能预测方法,复杂性(混沌性、分形性和记忆性)特征驱动的人工智能预测方法,非线性特征驱动的人工智能预测方法,周期性(季节性)特征驱动的人工智能预测方法,结构缺失数据特征驱动的人工智能预测方法,突变性(突发事件)特征驱动的人工智能预测方法,概念漂移数据特征驱动的人工智能预测方法,多类别数据特征的人工智能预测方法,高波动、多噪声数据特征驱动的人工智能预测方法,近似场景数据特征迁移的人工智能预测方法,多数据特征人工智能预测的集成方法,竞争-协同优化组合预测理论和方法,多场景交互下自适应预测模型和方法,基于人工智能预测研究的普适性验证方法,可解释性人工智能预测模型构建方法,复杂经济系统监测预警理论和方法等。

3.4 主要研究方向3: 数据特征驱动的人工智能决策优化理论和方法研究

近年来,大数据和人工智能技术飞速发展,为优化决策提供了新的视角和途径。大数据需要新的处理模式才能具有更强的决策力,要在海量数据中更高效地获取信息,必须借助一定的技术支持。与单纯形法和牛顿迭代法等传统的优化方法相比,人工智能优化算法在面对实际规模较为复杂的决策优化问题时往往能表现出更好的适应性。智能优化算法不仅具有全局搜索的能力,还具有并行计算的特征。因此,人工智能能够显著降低决策优化的成本,从而提高决策的时效性和准确性。然而,前期的智能优化算法并未对决策场景涉及的数据特征进行区分,大多将重点放在嵌入式的备择方案排序参数优化,对采用智能范式替代传统范式优化目标决策问题流程本身关注不够。而且,现有的基于人工智能的优化算法本身也不够完善,例如,基于仿生学的人工智能优化算法缺乏传统优化方法成熟的数理基础,大量的人工智能优化方法均在设定的框架下寻求最优解,并未足够考虑数据特征分布对内部优化过程的影响。因此,如何结合目标决策问题情景,并根据样本数据的数量特征(多源性、大量性、动态性和小样本特性)、质量特征(缺失性和噪声性)和分布特征(非均衡性、高维性和稀疏性),构建替代传统决策范式的决策优化理论和方法,以及完善嵌入式的人工智能支撑决策优化的理论基础,是未来的主要研究方向。

典型科学问题举例:决策数据特征检测和识别方法,决策数据特征表示方法,决策数据特征提取和特征选择方法,多源异构数据融合的人工智能决策优化方法,动态数据特征驱动的人工智能决策优化方法,大样本特征驱动的人工智能决策优化方法,小样本特征驱动的人工智能决策优化方法,高维性特征

驱动的人工智能决策优化方法,非均衡性特征驱动的人工智能决策优化方法,稀疏性特征驱动的人工智能决策优化方法,缺失性特征驱动的人工智能决策优化方法,噪声性特征驱动的人工智能决策优化方法,数据特征驱动的自适应算法设计,数据特征驱动的多智能体协同控制设计,数据特征驱动的智能优化决策系统设计,基于文本数据的人工智能决策优化,基于多媒体数据的人工智能决策优化,基于网络数据的人工智能决策优化,人工智能与传统决策范式的融合优化,基于多尺度数据的人工智能决策优化,基于漂移概念数据的人工智能决策优化,数据特征驱动的多冲突目标、多冲突约束、多尺度系统智能建模,机理不清的复杂动态系统建模,不完全数据和隐式数据下的智能决策方法,数据与机理分析相结合的复杂动态过程智能建模等。

3.5 主要研究方向4: 领域知识依赖的人工智能预测与决策理论和应用研究

随着人工智能的兴起,智能预测与决策研究开始在不同领域知识的支撑下得到广泛发展。一方面,深度学习、强化学习和神经网络等人工智能技术在数据分析和预测、决策优化和控制上逐步得到应用;另一方面,实际问题的求解本身依托于本领域的知识。例如,生产制造领域需要库存管理、车间调度理论、供应链和可靠性等专业理论,交通运输领域则需要网络流分析、控制论、路径规划和排队论等专业理论,金融领域依托于概率论、数理统计和博弈论等,运筹学中的数学规划、随机规划、动态规划和凸优化等建模求解技术,这些技术更是各领域决策优化问题中不可或缺的核心引擎。为了吸收不同领域的知识,人工智能预测与决策的常用方法分为3类:基于传统统计分析的线性方法,基于机器学习的非线性方法,近些年兴起的基于深度学习的隐性非线性方法。这些方法分别从领域数据中吸收其中蕴含的线性知识、非线性知识和隐含知识。以时序预测问题为例,传统方法以基于统计分析的自回归滑动平均系列模型为代表,此类方法曾一度长期主导时序预测领域。随着机器学习的兴起,人们开始将许多机器学习算法(如支持向量回归和极限学习机等)用于挖掘领域预测与决策问题中的非线性知识。随着计算机算力的大幅提升,人们开始尝试采用深度学习挖掘时序数据中的隐含知识。传统的领域知识依赖的线性智能预测与决策方法具有理论成熟、运用简单的优势,但也具有不能有效处理非线性领域知识的问题,尤其是对趋势预测不够稳定的问题。浅层机器学习方法可以在低维、简单非线性数据中取得良好的预测效果,但是却无法处理更为复杂的高维、非线性领域知识,尤其是对训练集外数据的预测效果难以保障。而使用深度学习方法挖掘预测与决策问题中的非线性领域知识,能自动从领域数据中学习得到隐性知识的特征,从而具有强大的非线性表达能力。因此,如何根据领域知识特征选择不同的智能预测与决策算法,以及如何发挥3种领域知识依

赖的智能算法优势优化预测与决策效果是亟待解决的科学难题。

典型科学问题举例: 面向工业应用的领域经验库构建, 基于领域知识的知识图谱构建和可视化分析, 自动化本体构建方法和本体学习, 领域知识驱动的综合集成研讨厅, 非均衡领域知识依赖的人工智能预测与决策, 非均衡领域知识依赖的多类别人工智能预测与决策, 无标签领域知识依赖的人工智能预测与决策, 噪声领域知识依赖的人工智能预测与决策, 离群知识依赖的人工智能预测与决策, 聚类领域知识依赖的人工智能预测与决策, 近似领域知识依赖的人工智能预测与决策, 领域知识依赖的机器学习和知识挖掘算法设计, 基于领域知识图谱的智能体系系统, 具备实时感知和分析学习能力的智能决策控制系统, 生产设备与供应链的数字化连接和高度协同, 产品实时监测和智能需求响应, 智能故障预测和维修系统, 智能资源调配系统和智能仓储系统, 智能城市规划和精细化管理, 电网需求预测, 交通流量预测, 车辆智能调度系统, 智能路线规划和导航系统, 智能疾病预测诊断和医疗服务系统, 智能投资顾问系统, 金融风险预测和监控系统, 宏观经济智能预测决策支持系统, 商业银行智能信贷决策支持系统, 地震灾害智能预测与决策支持系统, 智能医学影像分析系统等。

3.6 主要研究方向 5: 可解释人工智能系统预测与决策优化理论和应用研究

近年来, 围绕人工智能建立的预测与决策优化系统已经在企业管理、医疗管理、交通管理、司法管理、金融管理和旅游管理等许多社会领域创造巨大价值。随着各种预测与决策场景中不同领域大数据的积累、非线性领域知识的挖掘、数据特征的深层表示、智能模型的深度学习等, 导致基于人工智能的预测与决策系统越来越复杂化, 难以理解和解释人工智能的决策机制。这一缺陷很大程度上影响了人工智能在预测与决策优化的实际应用中的可信赖度, 使其缺乏推广能力, 大大阻碍了人工智能的进一步发展。因此, 如何增强人工智能系统预测与决策的可解释性是一个重要议题, 这也使可解释人工智能 (explainable artificial intelligence, XAI) 成为人工智能领域的新热点和新挑战。不同于人工智能领域智能算法可解释性的单一视角, 基于智能化预测与决策优化的可解释性需要同时考虑人工智能算法本身的可解释性、针对的领域问题场景本身的可解释性、智能化方法预测决策情景辅助决策过程的可解释性、特定决策场景预测与决策结果的可解释性等多个方面。由于在很多现实的预测与决策问题场景中智能化模型的可解释性至关重要, 因此深入研究可解释人工智能理论和方法, 并提高在预测与决策优化等现实应用中的可靠性和可扩展性, 是亟待突破的关键科学问题。

典型科学问题举例: 可解释性的数据表征方法, 自然语言处理技术和概率逻辑, 可解释人工智能系

统设计, 网络型数据的表征和信息提取技术, 可解释人工智能系统优化理论, 深度学习的知识蒸馏理论和方法, 机器学习认知和记忆效应理论, 人机博弈理论, 可解释性卷积神经网络, 黑盒模型和结果解释, 基于知识图谱的语义推理, 可解释性的深度神经网络, 基于可解释深度学习机制的预测与决策理论, 人工智能预测与决策可视化理论和方法, 基于案例推理的预测与决策优化理论和方法, 基于案例挖掘框架的预测与决策优化理论和方法, 实证辅助的人工智能可解释增强理论和方法, 可解释销售预测系统, 自动驾驶汽车行为判断和分析, 基于人工智能的个人信用评估等。

4 结束语

当前, 基于人工智能的管理预测与决策优化已经成为全球信息科技领域中的热点, 引起国内外学术界和产业界的广泛关注。本研究阐述国内外研究现状和发展态势, 梳理已有研究存在的问题和不足, 分析中国在该领域的研究基础和优势, 提出要开展五大方向的相关研究, 并针对每个研究方向给出相应的研究背景和对象, 并在此基础上列举了若干典型科学问题, 期待为人工智能驱动下管理预测与决策优化理论和方法研究提供方向和指引。

参考文献:

- [1] GHAHRAMANI Z. Probabilistic machine learning and artificial intelligence. *Nature*, 2015, 521(7553): 452-459.
- [2] LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G. Deep learning. *Nature*, 2015, 521(7553): 436-444.
- [3] DING R X, PALOMARES I, WANG X Q, et al. Large-scale decision-making: characterization, taxonomy, challenges and future directions from an artificial intelligence and applications perspective. *Information Fusion*, 2020, 59: 84-102.
- [4] LACKES R, SIEPERMANN M, VETTER G. What drives decision makers to follow or ignore forecasting tools: a game based analysis. *Journal of Business Research*, 2020, 106: 315-322.
- [5] DUAN Y Q, EDWARDS J S, DWIVEDI Y K. Artificial intelligence for decision making in the era of big data: evolution, challenges and research agenda. *International Journal of Information Management*, 2019, 48: 63-71.
- [6] GIL Y, GREAVES M, HENDLER J, et al. Amplify scientific discovery with artificial intelligence. *Science*, 2014, 346(6206): 171-172.
- [7] SILVER D, HUANG A, MADDISON C J, et al. Mastering the game of go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 2016, 529(7587): 484-489.
- [8] BIAMONTE J, WITTEK P, PANCOTTI N, et al. Quantum machine learning. *Nature*, 2017, 549(7671): 195-202.
- [9] INGRAND F, GHALLAB M. Deliberation for autonomous robots: a survey. *Artificial Intelligence*, 2017, 247: 10-44.
- [10] NOURANI V, GÖKÇEKUŞ H, UMAR I K. Artificial intelligence based ensemble model for prediction of vehicular traffic noise. *Environmental Research*, 2020, 180: 108852.
- [11] TROYANSKAYA O, TRAJANOSKI Z, CARPENTER A, et al.

- Artificial intelligence and cancer. *Nature Cancer*, 2020, 1(2): 149–152.
- [12] ANDRISOPOULOS D, DOUMPOS M, PARDALOS P M, et al. Computational approaches and data analytics in financial services: a literature review. *Journal of the Operational Research Society*, 2019, 70(10): 1581–1599.
- [13] MCARTHUR D, LEWIS M, BISHARY M. The roles of artificial intelligence in education: current progress and future prospects. *Journal of Educational Technology*, 2005, 1(4): 42–80.
- [14] GHANI N A, HAMID S, HASHEM I A T, et al. Social media big data analytics: a survey. *Computers in Human Behavior*, 2019, 101: 417–428.

Forecasting and Decision Optimization Theory and Methods Based on Artificial Intelligence

YU Lean^{1,2,3}

1 Weiqiao-UCAS Joint Lab, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2 School of Economics and Management, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China

3 Binzhou Institute of Technology, Binzhou 256600, China

Abstract: “Data-forecasting-decision” is the main mode of scientific decision-making in the field of management science. The emergence of artificial intelligence(AI) makes the data processing efficiency more perfect, the prediction of decision scenarios more accurate, and the optimization of decision results more intelligent. Its core advantage of this mode is to realize the efficient transformation of “data-forecasting-decision”. Based on the analysis of the research in China and outside China and development trend, this study focuses on the theory and methods of management forecasting and decision optimization driven by artificial intelligence, and puts forward five main research directions in this field, namely, transformation mechanism of AI driven decision-making paradigm, data-trait-driven AI forecasting theory and methods, data-trait-driven AI decision optimization theory and methods, domain knowledge dependent AI forecasting and decision optimization theory and applications, and interpretable AI forecasting and decision optimization theory and applications. For every research direction, the study gives the corresponding research background and research object, and lists some typical scientific problems in these directions. We hope this paper can promote the research exploration and practical development related to the forecasting and decision optimization theory and methods based on artificial intelligence.

Keywords: artificial intelligence; management forecasting; decision optimization; data traits; domain knowledge; interpretability

Received Date: October 10th, 2021 **Accepted Date:** December 20th, 2021

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China (71940002)

Biography: YU Lean, doctor in management, is a professor in the Weiqiao-UCAS Joint Lab at University of Chinese Academy of Sciences, in the School of Economics and Management at Beijing University of Chemical Technology, and in the Binzhou Institute of Technology. His research interests cover business intelligence, big data mining, economic forecasting, and decision analysis. His representative paper titled “On-line big data-driven oil consumption forecasting with Google trends” was published in the *International Journal of Forecasting* (Issue 1, 2019). E-mail: yulean@amss.ac.cn □