

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2021.08.003

决策智能理论与方法研究^①

曾大军^{1,2}, 李一军³, 唐立新⁴, 陈剑⁵, 刘忠⁶, 寇纲⁷, 李建平⁸,
田怀玉⁹, 邓天虎¹⁰, 熊熊¹¹, 张维¹¹, 梁嘉琦¹, 徐楠¹

(1. 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, 北京 100190; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 哈尔滨工业大学经济与管理学院, 哈尔滨 150001; 4. 东北大学智能工业数据解析与优化教育部重点实验室, 沈阳 110819; 5. 清华大学经济管理学院, 北京 100084; 6. 国防科技大学系统工程学院, 长沙 410073; 7. 西南财经大学工商管理学院, 成都 611130; 8. 中国科学院大学经济与管理学院, 北京 100190; 9. 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 北京 100875; 10. 清华大学工业工程系, 北京 100084; 11. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072)

摘要: 随着大数据应用的普及,特别是人工智能技术的突破,促使决策范式从信息化向智能化升级转型. 以大数据解析和混合智能为核心技术支持的决策智能,正处于萌芽阶段,已逐渐受到学术界、政府部门和产业界的重视,相关研究对实施科技强国战略具有重要意义. 结合国家自然科学基金委管理科学部“十四五”规划相关领域的前期专家讨论意见,本文凝练出该领域五个值得深入探索的研究方向,并给出了每个方向的典型科学问题示例.

关键词: 决策智能; 混合智能; 大数据解析

中图分类号: C93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2021)08-0018-08

0 基本概念、科学意义与国家战略需求

随着大数据应用的普及,特别是人工智能技术的突破和商务智能应用的成熟,为决策研究与应用提供了新的视角、理论范式和技术手段,促使决策范式从信息化向智能化升级转型. 决策智能(decision intelligence)为通过实时有效的大数据感知和解析来实现知情决策,并采用更加主动和全面的视角,面向未来可能发生的场景主动进行情景推演与态势预测,将这些前瞻性分析应用于决策制定、分析、实施和反馈的全过程. 与传统的商务智能或者决策支持系统相比,决策智能的重点在于通过混合智能对决策与其作用效应之间复

杂关系进行深度理解,有助于决策者在复杂、不确定性的系统和环境中动态地优化各种类型决策(如企业运营策略、政府政策)的制定、实施、评估和预演,以更好地达到预期的决策目标.

在商业智能应用日趋成熟的基础上,决策智能的应用进一步扩展到了政务、工业、农业、安全、军事等决策相关的其他领域. 2016年,英国政府发布的AI报告《人工智能:未来决策制定的机遇与影响》指出组织决策是人工智能发挥作用的核心领域,能够推动政府部门更加快速地获取决策相关的信息、更加精准地预测公众需求、更为全面地提升公共决策的透明度,从而优化公共资源配置、提高公共服务效率. 2016年,习近平总书记在

① 收稿日期: 2021-03-15; 修订日期: 2021-07-10.

基金项目: 科技创新2030—“新一代人工智能”资助重大项目(2020AAA0103405); 国家自然科学基金资助项目(71940001; 71940007; 71621002); 中国科学院资助先导项目(XDA27030100).

作者简介: 曾大军(1970—),男,广东五华人,博士,研究员. Email: dajun.zeng@ia.ac.cn

网络安全和信息化工作座谈会上指出了要以信息化推进国家治理体系和治理能力现代化,用信息化手段感知社会态势、畅通沟通渠道、辅助科学决策.2018年,在中共中央政治局就人工智能发展现状和趋势举行的第九次集体学习中,习总书记又进一步强调要加强人工智能同社会治理的结合,开发适用于政府服务和决策的人工智能系统.2017年,国务院印发的《新一代人工智能发展规划》,在多个重点任务中指出决策智能的应用场景:在智能农业领域,建立典型农业大数据智能决策分析系统;在智能商务领域,推广基于人工智能的新型商务服务与决策系统,鼓励围绕个人需求、企业管理提供定制化商务智能决策服务;在智能政务领域,开发适于政府服务与决策的人工智能平台,研制面向开放环境的决策引擎;在军民融合领域,促进人工智能技术军民双向转化,强化新一代人工智能技术对指挥决策、军事推演、国防装备等的有力支撑.2018年,在首届中国国际智能产业博览会上,中共中央政治局常委、国务院副总理韩正强调以智能化提升社会治理水平,建立“用数据说话、用数据决策、用数据管理、用数据创新”的机制.

在智能化时代,如何借助智能革命先进生产力辅助决策、增强智能化管理水平,既是推动国家治理现代化的重要支撑,也是实现国家创新发展战略的重要基石,更是一个国家核心竞争力的体现.目前,属于国际前沿交叉领域的以大数据解析和混合智能为核心技术支撑的决策智能,正处于萌芽阶段,已逐渐受到学术界和政府部门的重视,相关研究对实施科技强国战略具有重要意义.

1 国内外研究发展态势

从决策智能的内涵和外延来看,其对与决策相关的行业和应用都可能带来巨大的机遇,在国际上引发了从产业到政府、再到学术界的高度关注.

从产业方面看,决策智能在产业方面的突出表现形式就是各种提供人机融合决策方案公司的

出现和探索.决策智能主要是由大数据、人工智能、云计算等新兴技术驱动的、对决策制定相关的产业产生重大影响的情景推演、态势预测、决策制定和反馈等新兴的业务模式、技术应用和产品服务等.CB Insight 2017年发布的最值得关注的100家人工智能公司,自2012年来累计融资38亿美元.美国国家风险投资协会(the National Venture Capital Association)发布2019年投资者为美国人工智能初创企业的投入达到创纪录的184亿美元,而2018年的融资额为168亿美元.另据CB Insight报道的2020年全球100家最具潜力人工智能初创企业,涉及到为包括医疗保健、零售仓储和金融保险在内的15个行业和跨行业应用提供智能决策和智能解决方案,总融资额达到74亿美金.这100家公司中,有10家正在尝试并专注于利用决策智能相关的技术提供决策相关的解决方案.国际金融公司IFC就人工智能的投资趋势和特定行业的应用的报告指出,人工智能在商业、能源、医疗健康、教育、制造业、金融信贷、物流运输等方面的用途激增,且人工智能应用将在中国等新兴市场大量涌现并对主要经济领域产生重大影响.以决策智能的典型应用商务智能为例,微软、IBM、SAP等著名IT厂商都开始逐步升级原有的商务智能的平台,将企业内部和外部数据、信息、资源进行深度整合,探索将商业智能从商业领域扩展到开放域的新一代决策智能解决方案.

从国家战略方面看,在主要发达国家中,美国、英国和欧盟在决策智能领域形成了各自的竞争优势.美国联邦政府拥有大量的数据、模型和计算资源,这些资源对美国决策智能的研究和应用至关重要.2015年以来,美国白宫科技政策办公室先后发布《为人工智能的未来做好准备》、《国家人工智能研究和发展战略计划》、《人工智能、自动化与经济报告》和《美国人工智能倡议首年年度报告》,指出要增加公众对决策过程的参与以建立对人工智能技术的信任和信心.此外,英国政府2016年发布了AI报告《人工智能:未来决策制定的机遇与影响》,指出组织决策是人工智能发挥作用的核心领域,能够推动政府部门更加快速地获取决策相关的信息、更加精准地预测公众

需求、更为全面地提升公共决策的透明度,从而优化公共资源配置、提高公共服务效率。2020年欧盟发布了《人工智能白皮书》,指出人工智能在带来机遇的同时,也带来了风险,包括决策的不透明(黑匣子效应)、算法决策信息的不对称、无法判断在人工智能参与下的决策是否符合现有的欧盟法律规定。这些国家战略的发布,指出决策智能可能带来的机遇,将对决策智能的实施产生积极影响。从学术研究的角度看,从2015年至今,决策智能相关的研究逐渐被国际学者所关注和探索。由于大数据、先进算法、计算能力和存储能力的提高,人工智能在今天变得越来越流行,人工智能系统正在成为数字系统的一个嵌入式元素,对人类的决策产生深远的影响^[1,2]。最新的研究揭示了决策智能在情报分析、医学诊断、商业智能等方面可能的辅助决策作用,体现出决策智能在多领域中的重要研究价值^[3-6]。Dhami等人揭示了决策智能在情报分析领域的重要作用,开展了有关概率预测和不确定性沟通的决策研究,发现决策智能可用于改革情报流程并有助于高效地进行情报监督^[3]。Rawson等人认为决策智能在医学诊断上的也能发挥重要的辅助决策作用,指出人工智能工具可以在多个级别上提供支持决策,但是需要透明的共同的方法来构建以确保在医学诊断实施过程中被有效采用^[4]。Bivard等人使用人工智能支持临床决策来减少常规临床实践中评估者之间的差异,不仅有助于提取重要信息来提升患者类型识别的精度、预测患者的治疗反应及出院后的病情,其对医疗图像的处理和解释还可以为任何临床医生提供与专家相当的影像学评估^[5]。商业智能和分析(BI&A)也已经成为从业者和研究人员验证决策智能的重要研究领域,反映了当代企业中要解决的数据相关问题的规模 and 影响^[7]。在上述应用中,决策大多是在过程中建模的,损害了过程和决策的可维护性、可伸缩性和灵活性。因此,Hasic等人关注于分离流程模型和决策模型,引入决策模型和符号标准来填补决策表示空白并增强决策流程,从而将决策和流程进行分离和统一^[8]。据不完全统计,近五年在 *MIS Quarterly*、*Expert Systems With Applications*、*Journal of the Asso-*

ciation for Information Science and Technology 等管理类国际顶级期刊上发表论文近10篇。截至目前,在 Google Scholar 和著名社会科学工作网站 SSRN 以“decision intelligence”为关键词,搜索到近五年来的学术论文分别有276篇、271篇。此外,国际研究机构也开展了对决策智能的资助研究。2007年美国情报高级研究计划局启动“深绿”(deep green)项目,其目的是预测战场态势以帮助指挥员进行情况判断并提供决策方案,但由于当时的数据处理能力不足、仿真复杂度高而中断。2016年美国情报高级研究计划局发起了“混合预测挑战”项目,利用人机协同的方法对地缘政治事件进行预测。同时,美国国家科学基金会(NSF)近些年来资助了一批关于决策智能理论与应用方向的研究,例如:2019年的“面向医疗决策制定的人机合作研究”项目、以及2020年资助“能源、电力、控制和网络(EPCN)”项目、“基于数据感知、人工智能和学习的面向精准健康的多模态传感器系统”,探索决策智能在各领域的应用。

近年来,我国除了在国家层面提出决策智能的重大意义,将其列入一些重要国家战略外,产业界也在关注和探索决策智能的可能应用,急需学术研究方面的技术支撑。

从产业的角度看,阿里巴巴、京东、华为等互联网巨头率先意识到人工智能技术在复杂管理决策系统中的巨大潜力和科学研究价值,针对购物狂欢节、智能网络调度、工业制造决策系统等实际应用场景,分别启动达摩院(DAMO)决策智能实验室、京东零售“智能履约决策大脑”系统、华为云天才少年专项“强化学习与智能决策系统”,试图打造全球领先的决策智能研究体系,以降低行业成本、提升产品和服务。同时,司启元世界、深演智能、同盾科技等一些创业公司将决策智能作为公司核心研究方向,将其技术应用于公共决策、疫情预测、商业预测等方面,以推动人机理解和人机协作等决策智能技术的研究。除了这些新型技术公司外,中国邮政、平安集团、中国银联、中国农业银行等传统国企、金融机构也依托自己的优势,大力推进决策智能创新,以升级加速智能决策平台建设。

中国决策智能实践发展的主要动因体现在:

一是在中国经济高速发展的过程中,各行各业中早期的传统决策系统已经不能满足行业平台及其用户的快速发展的需求,从而为依托于人工智能技术的决策智能创新留出了足够空间;二是与发达经济体相比,虽然我国在决策智能方面的研究与应用处于刚刚起步的阶段,但是我国拥有的巨大的市场环境和人口红利在客观上对各个行业提供了更加丰富多样的决策环境,有助于决策系统智能化升级的研究与实验;三是决策智能自身的快速发展及其对包括新技术行业(互联网)、传统行业(金融、制造)在内的各个产业领域的深度融合与渗透。在这种决策智能实践高度发展的背景下,对决策智能基础理论的深入研究,将一方面有利于中国决策智能实践继续发扬自身优势,迅速健康成长;另一方面有助于破解中国决策智能实践发展过程中存在基础薄弱、技术落后和人才短缺等一系列内在困境,摆脱对西方发达国家长时间的技术依赖。

从学术研究的角度看,国内决策智能相关研究还在起步阶段,国内学者在军事装备^[9]、交通管控^[10]、工业生产^[11]等领域探索决策智能的相关研究与应用。在面向现实环境下问题驱动中的决策分析和政策制定进行研究与应用中,需要从 Informetrics 到 Decision Intelligence 的发展^[12],使数据分析与知识发现能在复杂现实环境中有用可用好用。因此,不仅需要多数据源、多方法多工具、多学科跨界融汇,还需要落地行业和实务下的研究与试验,不满足于“单纯”“研究”环境下的计算智能和感知智能,挑战复杂环境下的认知智能和决策智能^[13]。据不完全统计,在 CNKI 数据库以“决策智能”作为关键字检索文章篇名,在 2016 年至今国内仅发表论文 2 篇。在“百度学术”网站,检索标题中包含关键词“决策智能”的论文,在 2016 年至今公开发表中文学术论文也仅有 5 篇。以“Decision Intelligence”为关键词检索文章标题,在 Web of Science 平台上发现中国大陆学术机构在 2016 年至今共发表 56 篇国际学术论文,排在同期全球各个国家和地区同类论文数量的第二位(美国以 68 篇位列第一)。检索结果表明近五年国内在“决策智能”方面的相关研究还处于起步

萌芽阶段。

近年来,国家自然科学基金委员会(NSFC)陆续资助了一系列人工智能、决策控制与智能决策方法与实际应用方向的研究项目(包括 2 个重点项目、2 个重大研究计划、1 个重大项目、1 个国家杰出青年科学基金及 25 个面上项目、14 个青年科学基金等),集中在决策智能的理论探讨和在工业制造、智慧医疗、军事智能、公共安全、社会管理等方面的具体应用。与此同时,国内众多高校纷纷建立与决策智能相关的研究中心、研究院/所,并设立相关课程,对决策智能及其基础理论组织研究力量开展长期专门的研究(如北京理工大学复杂系统智能控制与决策国家重点实验室,上海交通大学环境保护大数据与智能决策重点实验室,陕西科技大学智能决策支持系统实验室,东北大学深度学习和先进智能决策研究所及人工智能与大数据科学中心,大连理工大学大数据与智能决策研究中心,合肥工业大学智能决策与信息系统工程研究中心,中南大学大数据与智能决策研究中心,西安电子科技大学智能制造与智能决策中心等等)。

虽然,国内目前关于决策智能相关学术研究还处于起步阶段,具体研究方向也待进一步探索。但是,我国决策智能应用与实践高度发展的背景,为我国学者在决策智能研究领域提供了领先世界的研究机会。中国庞大的人口基数通过互联网产业连接所体现出来的人口红利、巨大的市场空间带来的复杂多样的决策智能实践场景和已积累的大量行业基础数据、以及学术界形成的多学科交叉探索的开放性研究态势,再加上前期科学资助机构所投入的研究资金、学术界已经取得的学术成果积累、以及决策智能领先企业与学术界积极合作的趋势,都构成了支持我国决策智能学基础研究的有力条件和独特竞争力。

2 主要研究方向及其典型科学问题

2.1 决策内在机理探索

随着数据采集处理能力、存储计算能力的提升及人工智能技术的快速发展,社会、企业等对组

织设计、流程管控、需求挖掘、资源调配、风险管控等提出了更高的智能化要求。为应对决策环境与决策问题的快速变化,探究决策智能的内在本质并应用决策智能提升决策的实时性、可靠性和前瞻性,已经成为管理科学在智能化时代的发展趋势。当前决策智能方法存在泛化迁移性差、可解释性不足、持续学习能力弱、可靠性差等问题,导致人机不信任、协同差、融合难。为克服决策基础理论、关键技术智能化水平低的问题,需参照人脑决策深度挖掘决策本质,以单体智能、群体智能、体系智能为主线,以管理科学为主轴,融合脑科学、类脑计算、心理学、进化生物学、体系科学等成果,揭示智能技术赋能认知决策的根本机理,探索智能化时代的新型决策范式,构建行为可解释、持续演化、智能涌现的决策智能框架,实现从“信息域”向“认知域”和“决策域”的跨越。

典型科学问题举例:决策智能的基本形态与赋能机理、类脑知识推理的计算范式和基本框架、类脑试错学习的内在奖励机制与学习框架、规则与学习融合驱动的决策智能机理机制、脑启发的智能学习与决策机理、类脑计算的弱监督学习、好奇心驱动的内在奖赏机制、辅助任务驱动的长时决策框架、集智涌现的内在机理、群体智能演化的机制设计、决策能力自感知的人机协同框架等。

2.2 决策主体智能建模和学习机制

由于未来决策环境的复杂性,涉及到多个决策主体(包括机器和人),可分为决策主持人、决策者、决策协调者等,也可分为我方决策主体和对手决策主体。在有限理性的情况下,各决策主体不仅有自己的行为规则方式和自主决策处置能力,而且它们之间存在着复杂的交互关系。且在很多重大决策制定场合,出于伦理和法律以及安全等方面的因素,决策者和利益相关者需要人工智能技术具备更高级的可解释性,对其所做出的预测或者判断给出原因。此外,在特定的决策环境中法律制度、伦理规范以及决策文化等社会因素对决策主体的行为构成实质性的约束,比如法律和伦理对训练数据集的获取、使用会直接影响决策主体可能产生的行为,亦或对单个决策主体的影响,

进而对整个决策过程产生影响。所有这些都对决策主体智能建模和学习机制提出了新的需求。

典型科学问题举例:数据驱动的决策主体智能建模方法、基于 BDI(belief-desire-intention)的决策主体建模、规则驱动的决策主体智能建模方法、基于系统动力学的仿真建模、基于桌面演练的仿真建模、群体智能建模、我方决策主体的效用建模、我方决策主体的行为建模、竞争对手决策主体的效用建模、竞争对手决策主体的行为建模、各决策主体的静态与动态属性以及各属性间的关系、社会因素等环境对决策主体的影响建模、决策主体自适应决策的博弈模型、决策方法的可解释性等。

2.3 决策生态系统交互演化机理

近年来,新兴技术领域取得的突破式进步改变了现有的生产、生活和工作方式。其中,基于数字化的新理念、新场景、新应用驱动着万物互联时代的加速到来,也重塑了人机协同的决策机制。在诸如城市、医疗、供应链和能源等超大规模复杂系统中,决策涉及决策主体、客体、社会、自然、文化、政治、经济环境等多个参与方,其交互形式多样、关系复杂,具有很强的动态对抗特性。且随着各大系统物理规模增大、数据来源增多、时限容忍减弱、不确定性增强,决策的难度与复杂度也随之增大。决策生态系统指的是决策主体、被决策主体与外部环境所共同构成的特定空间。通过研究决策生态系统的构成要素及其组织方式、交互规律、演化趋势等,旨在挖掘并掌握决策生态系统交互演化机理,推演从个体局部决策到生态系统决策的全流程,提出控制决策生态系统内部交互演化的方法论。

典型科学问题举例:决策生态系统要素及其作用机理、决策主体间的交互建模、决策主体的行为演化规律、外部环境对决策主体的影响机理、生态系统决策的演化规律、复杂系统的决策生态系统控制的理论与实验、不确定环境 BDI 智能体构建及推演技术、融合社会因素的决策生态系统建模等。

2.4 决策知识抽取、发现与演绎方法

随着大数据时代的到来,复杂系统对于从

根据海量用户生成的多模态、多语言、非结构、非形式化的数据中抽取、发现与演绎决策知识提出了新的智能化要求。决策知识反映设计者运用各种专业知识与经验,定义设计问题、产生设计概念并进行设计决策的动态心理行为过程,其按照存在形式通常分为显性决策知识与隐性决策知识。显性决策知识是设计人员将设计过程中产生的决策知识以不同格式的文档保存下来的历史性的知识,如设计说明书、技术报告、专利文档等。隐性决策知识则是在设计过程中设计人员保留在头脑中而没有形成文字的决策知识。在设计决策系统中有效地进行知识抽取、发现和演绎对于提升系统的设计质量和决策执行效率均具有决定性作用。为更好地管理和应用决策知识,需设计智能化决策知识模型,通过对显性决策知识进行抽取,对隐性决策知识进行发现与演绎,来构建决策智能知识库,以实现决策知识的高效重用。

典型科学问题举例:结构化与非结构化数据挖掘与数据库知识发现、基于知识发现的自动化知识抽取策略、决策知识的结构分析与表示方法、隐式可拓知识与可拓知识推理、知识图谱构建与可视化分析、自然语言理解和智能知识信息检索、基于元信息和本体论的多源知识融合处理等。

2.5 决策推演与验证理论与方法

在复杂的现实情境下,决策推演与验证的重要问题包括多方面评估决策影响、针对群体行为进行决策结果预测、以及使用大数据进行理论验证。以针对重大公共卫生事件的决策评估、推演和验证为例,决策智能为传染病流行的精准推演、疫苗研发和综合性免疫策略制定提供框架和工具。从正在全球大流行的新型冠状病毒肺炎(COVID-19)切入,疫情已经严重威胁了包括中国在内的世界各国人民的生命安全,对全球医疗系统造成了巨大负担,并严重影响了全球经济形势。针对严峻的全球大流行情况,各国政府出台了关闭公共场所、社交隔离等非药物干预决策,并积极开发、试验药

物、疫苗,以减缓疫情扩散。因此,对于新冠肺炎在数据不完备的情况下传播规律和群体认知的研究,并整合人的智慧出台干预决策及对干预决策的定量化评价,能为当前的防控提供理论依据,减缓当前新冠肺炎的传播及其造成的损失,并为应对未来其他新发突发传染病的防控打好坚实的理论基础。

典型科学问题举例:大数据驱动的风险识别、政策匹配性评估、政策影响实时分析、人机结合的政策影响预测、政策影响评估及效果预测、面向重大风险场景的政策制定、政策制定中的博弈机制设计与环境与互动要素设计、政策风险预测与风险要素计算、融合社会认知理论的“虚事实”政策推演、面向政策制定者和受众的行为决策分析、政策实施语境下的多智能体建模等。

3 结束语

随着人工智能技术迅猛发展、大数据应用与决策场景更紧密的结合,混合智能、群体智能、类脑计算、BDI智能体构建、社会认知理论等为决策智能研究与实践提供了新的视角和技术手段,促使决策制定从信息化向智能化方向转变。决策智能作为决策支持系统的升级,研究在我国正处于快速起步阶段,需要探索决策内在机理、决策主体智能建模和学习机制以及决策生态系统交互演化机理,并聚焦决策知识抽取发现与演绎方法和决策推演与验证理论与方法。今后需进一步凝练关键科学问题,规划和推进相关学科攻关团队的培养,以推动决策智能理论与方法的进步,促进决策智能发展。

致谢:感谢吴德胜、岳劲峰、张辉(依姓氏拼音排序)等各位专家参与本次“决策智能理论与方法”优先领域讨论并提出真知灼见,这些建议和意见是本文尤其是其中第二部分关键科学问题的形成基础。

参 考 文 献:

- [1] Duan Y, Edwards J S, Dwivedi Y K. Artificial intelligence for decision making in the era of big data-evolution, challenges and research agenda[J]. *International Journal of Information Management*, 2019, 48: 63 – 71.
- [2] 席酉民, 刘 鹏. 管理学在中国突破的可能性和途径——和谐管理的研究探索与担当[J]. *管理科学学报*, 2019, 22(9): 1 – 11.
Xi Youmin, Liu Peng. The possibility and approaches of management science breakthrough in China: Research exploration and responsibility of harmonious management[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2019, 22(9): 1 – 11. (in Chinese)
- [3] Dhami M K, Mandel D R, Mellers B A, et al. Improving intelligence analysis with decision science[J]. *Perspectives on Psychological Science*, 2015, 10(6): 753 – 757.
- [4] Rawson T M, Ahmad R, Toumazou C, et al. Artificial intelligence can improve decision-making in infection management [J]. *Nature Human Behaviour*, 2019, 3(6): 543 – 545.
- [5] Bivard A, Churilov L, Parsons M. Artificial intelligence for decision support in acute stroke: Current roles and potential[J]. *Nature Reviews Neurology*, 2020, 16(10): 1 – 11.
- [6] 盛昭瀚. 管理: 从系统性到复杂性[J]. *管理科学学报*, 2019, 22(3): 2 – 14.
Sheng Shaohan. Management: From systematicness to complexity[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2019, 22(3): 2 – 14. (in Chinese)
- [7] Turban E, Sharda R, Delen D. Business intelligence and analytics: Systems for decision support, global edition[J]. *MIS Quarterly*, 2012, 36(4): 1165 – 1188.
- [8] Hasic F, De Smedt J, Vanthienen J. Augmenting processes with decision intelligence: Principles for integrated modelling [J]. *Decision Support Systems*, 2018, 107: 1 – 12.
- [9] 张晓海, 操新文, 耿松涛, 等. 基于深度学习的军事辅助决策智能化研究[J]. *兵器装备工程学报*, 2018, 39(10): 162 – 167.
Zhang Xiaohai, Cao Xinwen, Geng Songtao, et al. Research on intellectualization of military assistant decision making based on deep learning[J]. *Journal of Ordnance Equipment Engineering*, 2018, 39(10): 162 – 167. (in Chinese)
- [10] 董元帅, 张艳红. 交通量大数据助养护决策智能化[J]. *中国公路*, 2018, (14): 88 – 90.
Dong Yuanshuai, Zhang Yanhong. Big data of traffic volume helps intelligentize maintenance decisions[J]. *China Highway*, 2018, (14): 88 – 90. (in Chinese)
- [11] 曹永刚. 煤矿安全隐患采集决策智能系统的设计研究[J]. *自动化应用*, 2020, (4): 119 – 121.
Cao Yonggang. Design and research of intelligent system for collecting and decision-making potential safety in coal mine [J]. *Automation Application*, 2020, (4): 119 – 121. (in Chinese)
- [12] 张晓林. 从 Informetrics 到 Decision Intelligence: 呼唤知识发现研究的范式演变[J]. *数据分析与知识发现*, 2019, 3(1): 1 – 2.
Zhang Xiaolin. From informetrics to decision intelligence: Calling for the paradigm evolution of knowledge discovery research[J]. *Data Analysis and Knowledge Discovery*, 2019, 3(1): 1 – 2. (in Chinese)
- [13] 张晓林. 支持复杂场景下的决策智能——数据分析与知识发现的新挑战[J]. *数据分析与知识发现*, 2021, 5(1): 1 – 2.
Zhang Xiaolin. Supporting decision intelligence in complex scenarios: New challenges for data analysis and knowledge discovery[J]. *Data Analysis and Knowledge Discovery*, 2021, 5(1): 1 – 2. (in Chinese)

Decision intelligence research: Theory and methods

ZENG Da-jun^{1,2}, LI Yi-jun³, TANG Li-xin⁴, CHEN Jian⁵, LIU Zhong⁶, KOU Gang⁷, LI Jian-ping⁸, TIAN Huai-yu⁹, DENG Tian-hu¹⁰, XIONG Xiong¹¹, ZHANG Wei¹¹, LIANG Jia-qi¹, XU Nan¹

1. The State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. School of Economics and Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;
4. Key Laboratory of Data Analytics and Optimization for Smart Industry, Ministry of Education, Northeastern University, Shenyang 110819, China;
5. School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
6. College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
7. School of Business Administration, Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 611130, China;
8. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
9. College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
10. Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
11. College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: As big data applications gain popularity and artificial intelligence (AI) technology enjoys many breakthroughs, the decision-making paradigm is transitioning from information systems-based to AI-based. Decision intelligence, with big data analysis and hybrid intelligence as its core supporting technologies, is in its infancy and has increasingly attracted the attention of academia, government, and industry. Decision intelligence research is of great significance to the implementation of the strategy of strengthening the country through science and technology. Building on the expert panel discussions concerning the 14th Five-Year Plan of the Management Science Department of the National Natural Science Foundation of China (NSFC), this paper summarizes five promising research directions, worthy of further exploration, in the emerging field of decision intelligence. For each direction, representative scientific questions are presented, along with their implications

Key words: decision intelligence; hybrid intelligence; big data analytic