



面向高危行业的无人平台智能化发展

陈杰^{1,2}, 方浩^{2*}, 曾宪琳²

1. 同济大学, 上海 200092

2. 北京理工大学, 北京 100081

* 通信作者. E-mail: fangh@bit.edu.cn

收稿日期: 2021-05-10; 接受日期: 2021-06-04; 网络出版日期: 2021-09-15

中国工程院咨询研究项目 (批准号: 2019-XZ-7) 资助

摘要 在人工智能与“新基建”推动的技术变革背景下, 面向灾害救援、突发公共事件、应急处理等高危行业, 推进无人平台的智能化升级, 对保障人民的健康安全, 提升国家应急和治理能力具有重要的意义. 本文对面向反恐、救灾、应急等高危行业的无人平台智能化发展的特点和现状进行分析, 对基础理论、关键技术、重大装备和人才培养等 4 个方面的国内外现状和发展趋势进行总结, 结合我国面向高危行业的无人平台智能化发展的现状、需求和不足, 提出未来基础理论、关键技术、重大装备、人才培养等方面需要攻克和解决的挑战和问题, 提出面向高危行业的无人平台智能化发展的战略规划与顶层设计的建议.

关键词 高危行业, 无人平台, 智能化发展, 人工智能, 对策建议

1 前言

21 世纪以来, 恐怖袭击、自然灾害、重大疫情等突发事件频发, 严重威胁着人类的生命与财产安全, 我国面临着东突恐怖主义的威胁, 也是世界上自然灾害最为严重的国家之一. 反恐、救灾、应急等高危行业直接关系到人民生命财产安全, 同时这些行业存在作业复杂度高、危险系数高、易造成人员伤亡等特点, 利用自主无人系统和人工智能等新技术不断提升我国反恐、救灾、应急等高危行业的应对能力和安全性, 对国家安全和人民健康具有重要意义.

人工智能和无人系统理论和技术近年来快速发展^[1~4], 以无人车、机器人、无人机、无人艇等为代表的智能无人平台可广泛应用于灾害救援、环境监测、应急物流、应急处理等危险、复杂、恶劣环境^[5~8]. 无人平台涉及到自动化、计算机、通信、电子、机械、数学、管理等多学科的交叉融合^[4,9~11], 是人工智能、大数据等科技前沿领域的交叉融合发展的代表性物理载体, 是研究人工智能理论、方法与技术的最佳切入点与重要抓手. 人工智能基础理论、方法与技术的不断发展将极大提高无人平台的

引用格式: 陈杰, 方浩, 曾宪琳. 面向高危行业的无人平台智能化发展. 中国科学: 信息科学, 2021, 51: 1397–1410, doi: 10.1360/SSI-2021-0154
Chen J, Fang H, Zeng X L. On the intelligent development of unmanned platforms in high-risk industries (in Chinese). Sci Sin Inform, 2021, 51: 1397–1410, doi: 10.1360/SSI-2021-0154

自主化和智能化水平, 促进无人平台向智能化发展. 我国年产无人平台约 300 万台, 产值 30 亿元. 无人平台作为人工智能、无人系统与反恐救灾等高危行业结合的重要载体, 在反恐、救灾、应急管理等方面具有广泛市场需求¹⁾, 对国民经济和产业发展具有重要的拉动作用.

各个国家都制定了相关的政策来推动面向安全的无人平台智能化发展. 日本在 2015 年通过“机器人新战略”, 将救灾服务智能无人平台作为重要研究方向之一^[12]. 美国在“2016 机器人发展路线图”中将救灾、反恐、排爆等无人平台作为未来 15 年的重点发展方向^[13]. 欧洲联盟在“机器人 2020 多年度路线图”、“地平线 2020”等计划中重新设计了机器人产业整体的研发方向, 强调开展面向搜救、反恐等高危行业无人平台智能化研发的重要性^[14]. 我国的《人工智能发展白皮书(2018 年)》指出: “在反恐反暴领域, 人工智能在打击恐怖分子、炸弹排除等领域可发挥重要作用”、“在灾后救援领域, 人工智能在高效处置灾情、避免人员伤亡方面发挥关键作用”.

由于无人平台智能化在安全领域的重要性, 美国在该领域对我国实施技术和智力封锁. 2018 年 11 月, 美国商务部工业和安全局宣布禁止对中国出口 14 类代表性新兴技术²⁾, 其中人工智能、机器人、导航与授时等与智能无人平台密切相关, 并限制中国公民赴美进行与上述新兴技术相关的学术交流、停止招收来自中国相关专业的学生; 2019 年 12 月, 美国再次禁止出口无人平台的地图、软件、高精度光学感知器件等有关技术; 2020 年 5 月, 美国白宫发布《暂时禁止部分中国留学生、研究人员入境总统公告》, 企图对我国相关领域进行智力封锁. 因此, 从战略高度建立无人平台智能化的基础理论、关键技术、重大装备、人才培养等方面的发展战略, 依靠自身力量, 自主创新、协同攻关, 解决无人平台智能化卡脖子难题, 才能使得我国反恐、救灾、应急等高危行业的安全性实现跨越式发展.

2 面向高危行业的无人平台智能化发展现状

2.1 发展现状

国内外积极推进反恐、救灾、应急等高危行业的智能化发展, 面向高危行业的无人平台智能化在基础理论、关键技术、重大装备、人才培养等方面都取得了阶段性进展.

2.1.1 无人平台智能化的基础理论

在感知理论研究中, 理想环境下数据挖掘、环境感知已经取得了丰富的成果, 近年来的研究重点是复杂、大范围环境下多模态数据融合、小样本/弱泛化数据的智能解析、隐私保护的分布式计算、复杂环境的主动感知等方面; 在认知理论研究中, 认知计算、环境建模、故障/灾害预测、分布式污染/信息源定位等方面都取得了显著进展, 近年来的前沿包括可解释的学习认知理论、考虑对抗欺骗的认知理论、开放/非结构化环境的精确建模、突发性事件的智能预测与定位; 决策理论在封闭环境、简单场景下的任务分配、路径规划、轨迹生成等方面成果丰富, 研究重点逐步转移到复杂非结构化的路径规划、基于博弈和优化的多目标决策、自组织与自涌现机理、对抗条件下的在线决策等方面; 控制理论研究中, 如鲁棒自适应控制、协同控制与编队、网络化控制等方面取得了很多的研究成果, 近年来的研究前沿包括人机协作控制、协同优化与博弈控制、基于学习的控制、多模态机器人控制、类脑与仿生控制等.

1) 全国应急产业联盟, 工信部中小企业发展促进中心, 中国船舶重工集团公司 714 所. 我国应急产业发展报告. 2019.

2) Export Administrative Regulation. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, 2018.

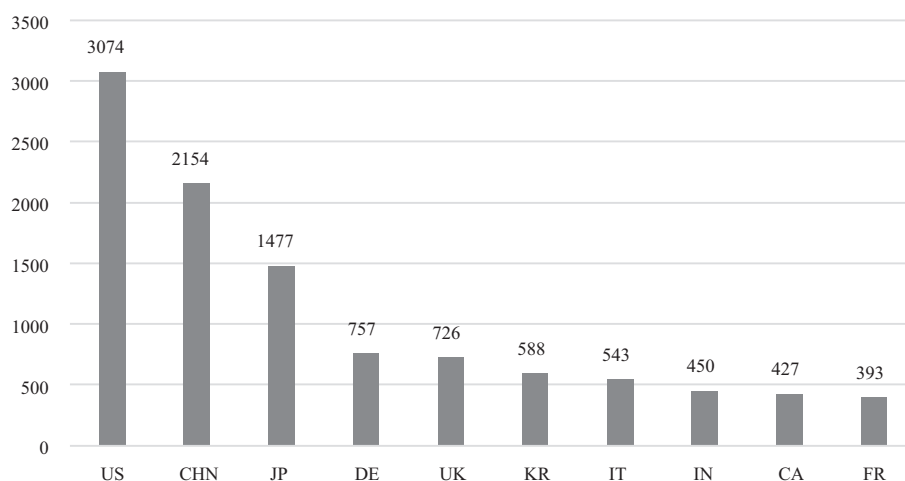


图 1 各国无人平台相关论文数量

Figure 1 Number of articles related to unmanned platforms by different countries

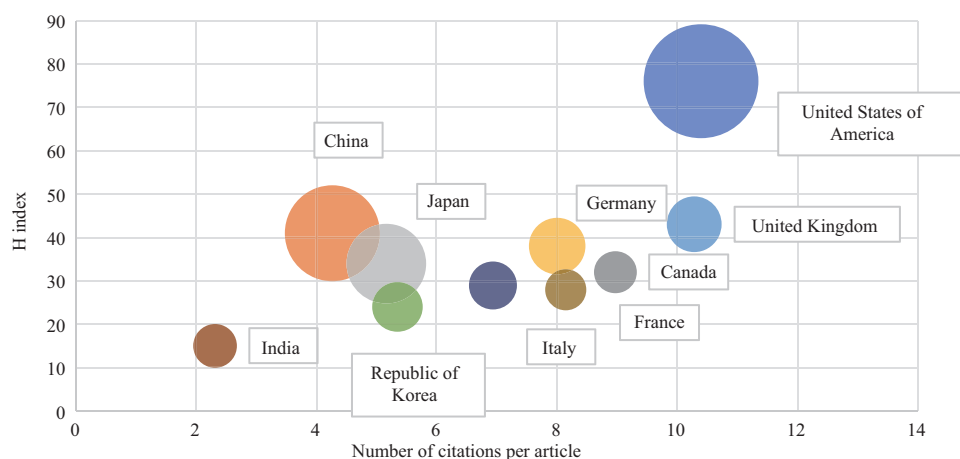


图 2 (网络版彩图) 各国无人平台相关论文 H 指数及篇均被引次数

Figure 2 (Color online) The H index and the average number of citations of relevant articles on unmanned platforms by different countries

通过学术论文 (截至 2020 年 6 月, 基于 Web of Science 数据库) 计量统计, 美国、中国、日本是论文发表数量最多的国家 (如图 1 所示). 美国在论文数量、篇均被引频次、H 指数上均领先其他国家, 中国论文数量已跃居世界第二, H 指数较高, 但篇均被引较低 (如图 2 所示). 就研究内容而言, 美国研究涉及面广, 特别在人机交互理论与机器人搜救方法方面较为突出; 中国在无人机的控制理论方面较其他国家更为突出, 其中基于神经网络、轨迹跟踪、自适应控制的研究成果较多; 日本注重灾害、地震等场景下的机器人相关理论研究, 在水下、蛇形、人形机器人的控制理论方面有明显优势; 德国注重水下机器人、灾难管理、人机交互技术领域研究.

2.1.2 无人平台智能化的关键技术

在感知技术方面, 结构化环境、理想环境下的感知技术相对成熟, 在非结构化、干扰条件下, 多传感器融合技术、跨模态跨尺度信息配准和融合技术、实时态势感知技术、异构无人平台的安全交互技

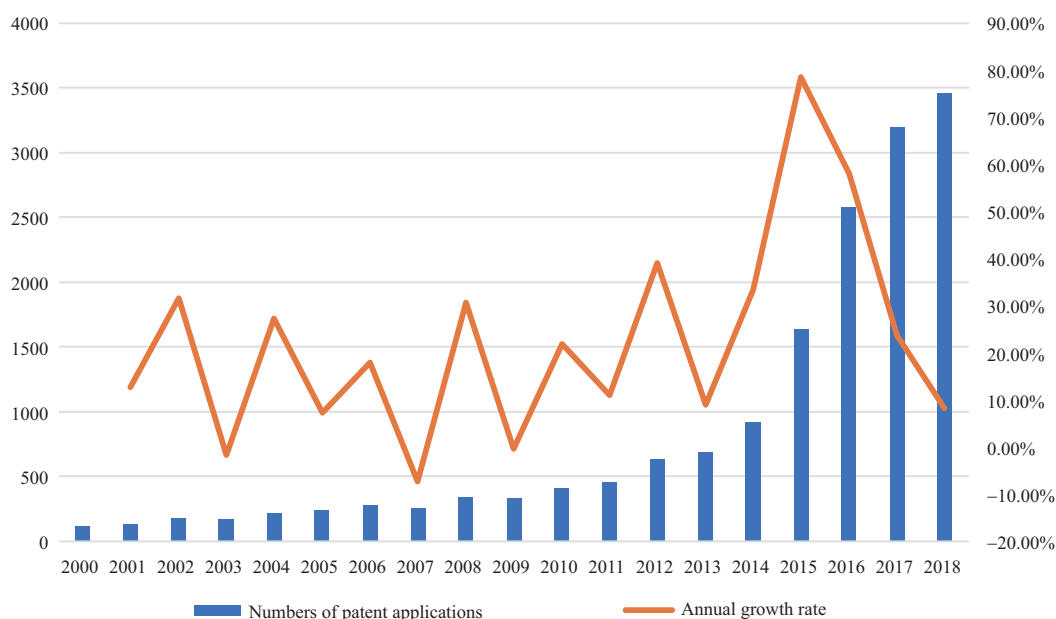


图 3 (网络版彩图) 高危工作环境无人平台相关技术专利申请量年度变化态势

Figure 3 (Color online) Trend of the number of patent applications related to unmanned platforms in high-risk working environments

术、集群协同态势感知和共享等研究受到重视。在认知技术方面, 基于自然语言和环境图像的认知技术、室内即时定位与建图 (simultaneous localization and mapping, SLAM) 技术、GPS/超宽带定位技术、故障/攻击检测技术迅猛发展, 近年来拒止环境下协同定位技术、脑机融合认知技术、开放环境的环境建模、人机协同认知技术、分布式的环境建模与定位技术等方面受到了国内外的重视; 在决策技术方面, 理想条件下的路径规划、轨迹规划、导航技术都取得了很多的成果, 近年来的研究难点包括拒止环境下导航与规划技术、多无人平台自组织技术、高动态场景下协同决策与博弈、多无人平台智能交互技术、冲突消解技术等; 在控制技术方面, 单一任务、确定环境中的单体平台控制技术相对成熟, 但不确定环境下的无人平台的自主和协同能力仍然不足, 近年来的热点包括有人/无人协作智能控制技术、人机交互控制技术、弱通信条件下自主智能控制技术、仿人控制技术等。

通过相关专利 (基于科睿唯安公司 Derwent Innovation 数据库) 计量统计 (如图 3 和 4 所示), 中国、美国、日本、德国、韩国是高危工作环境无人平台相关技术专利的主要申请国家, 占全部专利的 90%, 其中中国科研机构的专利申请数量自 2012 年起大幅增加, 占专利申请总量的 57%。就研究内容而言, 中国在无人平台的技术布局比较广泛, 在无人机灭火、无线通信模块、救援机器人、路径规划、无人船技术、地面无人车技术、机械臂/气动肌腱、机器人伺服控制、焊接机器人、无人机图像处理、气体泄漏检测等领域具有较强技术积累; 美国在无人机、无人车辆、应急救援等相关技术方面的优势明显, 包括通信技术、定位技术、处理芯片、传感器技术、多无人机/无人车协同技术、核反应堆的机械操作技术等方面都具有突出成果; 日本注重机器人救援领域的技术研究, 在图像/物体识别技术、相机技术、灭火机器人、核反应堆机械操作系统、防爆机器人、工业机器人、救灾爬行机器人等方面的相关技术专利成果较多。

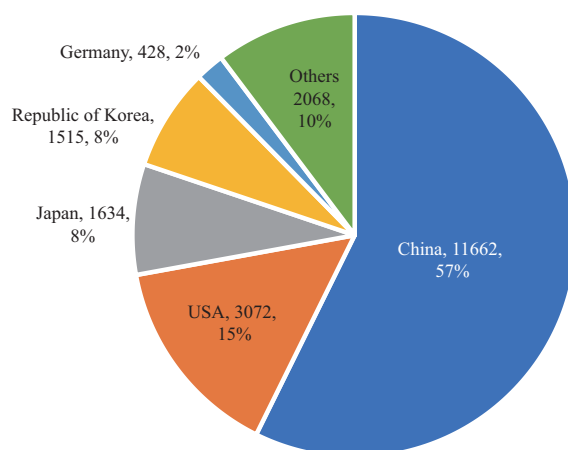


图 4 (网络版彩图) 世界主要国家高危工作环境无人平台相关技术专利申请比例

Figure 4 (Color online) Proportion of patent applications related to unmanned platforms in high-risk work environments by different countries

2.1.3 无人平台智能化的重大装备

智能无人平台装备研发方面,我国对主要的平台类型均有研制开发,但装备研发水平仍然以跟踪国外为主,部分核心部件和核心材料与国外差距较大.在无人机装备方面,多旋翼、固定翼无人机挂载遥感、红外等多种载荷模块可实现灾区航拍、安防监测、人员搜索等任务,中小型短近程机型在突发救援事件取得了一定的成功,获得了很好的发展,具备灾后运输、投放物资、喊话等救援的潜力.在地面无人平台方面,我国在消防机器人、安防巡逻机器人、煤矿机器人装备方面都取得了突破.瑞典在消防机器人装备方面具有优势,日本在蛇形救援机器人方面处于领先地位.在水下无人平台方面,我国的工业级水下搜救机器人研发进展巨大,但美国、德国和日本在水下搜救机器人方面仍具有领先优势.

2.1.4 无人平台智能化的人才培养

科研院所和高校是面向高危行业的无人平台相关领域的专业人才的主要培养机构,也是相关技术研究中主要的专利权人及论文发表机构,如图 5 和 6 所示.国际学术组织及各国政府也积极开展相关的学术竞赛活动,助力人才培养工作.例如全国机器人大赛中,就有排爆救援机器人、全地形机器人、水中机器人模拟管道漏油点检测等比赛项目,美国国防高级研究计划局举办的“地表之下挑战赛”中有救援机器人和无人机系统等相关项目.

在人才的配置和引进方面,中国人工智能人才主要集中在应用领域,而美国人工智能人才主要集中在基础领域和技术领域.同时,我国科技公司对人才的吸引力强劲,核心科技公司、创业公司都吸引了大量无人平台智能化人才.相对美国高校,我国高校和研究所对智能化人才的吸引力稍低,截至 2016 年年底,中国有 10.7% 的人工智能领域从业者曾在高校或研究所工作过,低于美国的 26.7%.从人才的组成上来看,我国的无人平台智能化相关人才对比国外具有年轻化的特点,例如中国人工智能人才在 28~37 岁年龄段的占总数的 50% 以上,而 48 岁及以上的资深人工智能人才占比较少,只有 3.7%.

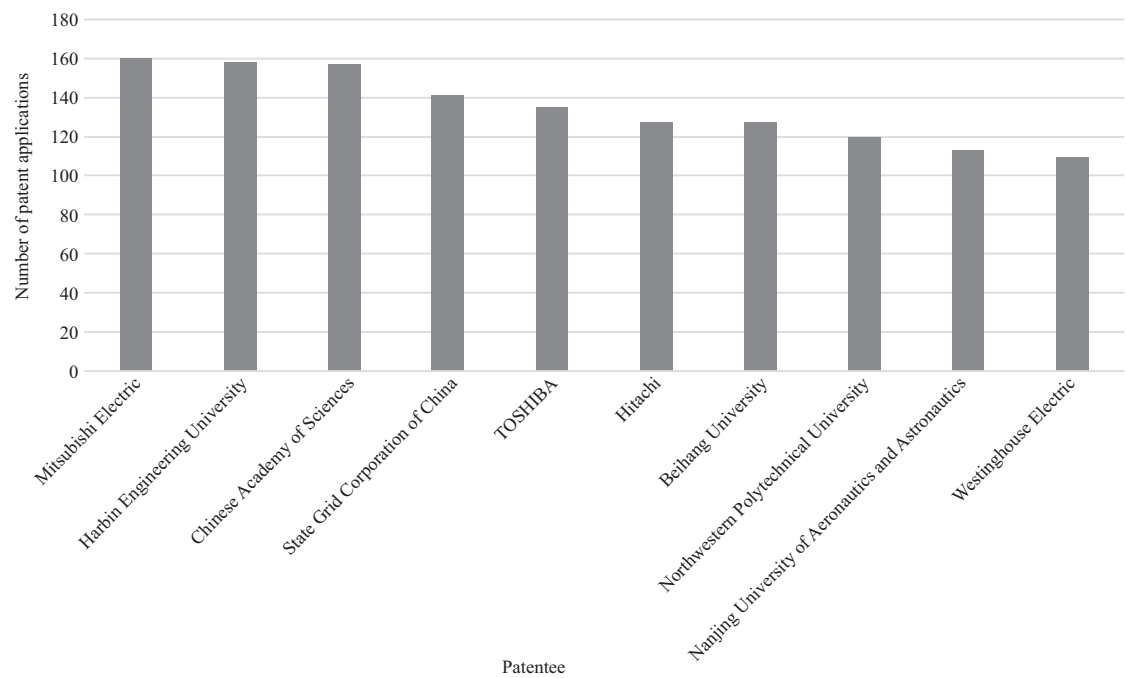


图 5 高危工作环境无人平台相关技术专利 Top10 专利权人

Figure 5 Top 10 patentees for technology patents related to unmanned platforms in high-risk working environments

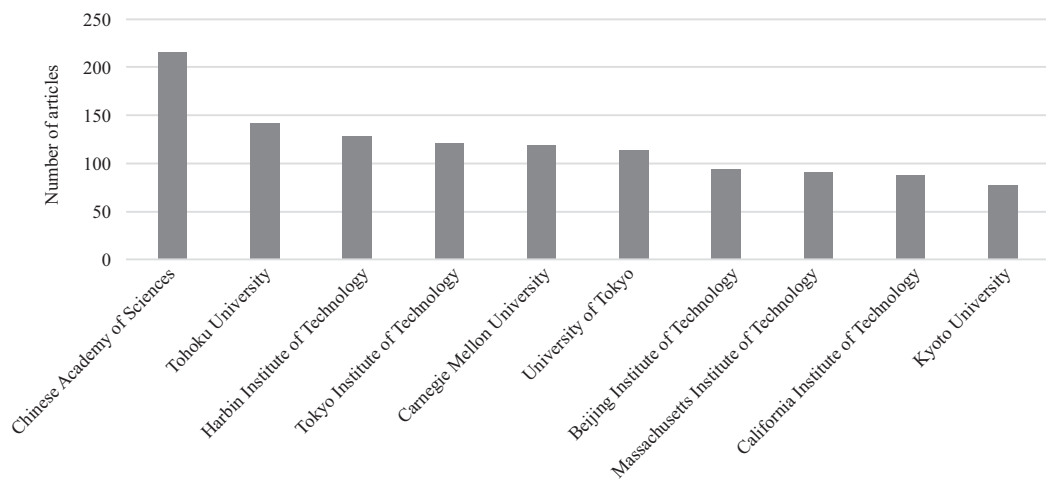


图 6 高危工作环境无人平台相关论文 Top10 发表机构

Figure 6 Top 10 institutes for articles related to unmanned platforms in high-risk working environments

2.2 存在的问题

对照现实需求和更好的标准,我国面向高危行业的无人平台智能化发展在基础理论、关键技术、重大装备、人才培养方面仍然存在一些问题.

在基础理论方面,我国的研究方向仍然主要是追踪国外研究,对一些前沿的科学问题研究投入较少,尤其是开放环境、非结构化环境、集群无人平台的相关理论研究仍然不足.基础研究队伍体量大,

但同质化现象严重,高影响力的研究数量和水平与国外差距明显,凝练和解决科学问题能力不足。

在关键技术方面,在开放动态环境下的单体平台智能化技术、多无人平台协同技术方面仍存在不足,尤其是多平台的安全与可信协同方面涉及较少。在单体平台智能化方面,缺乏针对开放动态环境的平台控制技术的通用性与泛化研究,导致无人平台在实际场景中缺乏安全性保障,整体可靠性不高。在多无人平台协同层面,缺乏群体智能涌现与智能决策方面的技术储备,系统整体尚处于硬件堆叠与协调阶段,未能发挥出多无人平台的群体性优势。从专利申请情况看,我国专利数量大,但国际化率偏低,我国在无人平台核心技术方面仍缺乏国际影响力。

在重大装备方面,我国的总体技术和研发能力已达到或接近国际先进水平,但在一些关键部件和某些材料的研究方面还有很大差距,如高端精密减速器、伺服电机、控制器主要依靠日本和欧洲进口。我国装备的标准体系、评估体系、操作规范缺乏统一标准,导致产品间的兼容性、系统间的协调配合存在阻碍,需要进一步完善。国产装备的市场成熟度有待完善,企业“小、散、弱”问题突出,依靠政府补贴、项目扶持的模式进行特种无人机/机器人的推广不可持续,需充分挖掘包括搜救等在内的公共管理等领域的需求。

在人才培养方面,无人平台的研发涉及专业面广,需要机械、电气、控制、车辆、通信、数学、人工智能等多个专业的人才支持。智能无人平台的维护和使用专业性更高,现场调试与维护人才缺失,相应的配套专业培训仍然不足。人才培养国际化、理论结合实践的培养体系不够完整,国际交流在一定程度上受到某些国家限制,具有较高国际话语权的高层次人才数量还无法与欧美国家相抗衡。

3 无人平台的智能化发展架构

随着人工智能理论和技术的发展、5G 通信网络的建设,面向反恐、救灾等高危行业的无人平台的智能化研究有了新内容,在理论、技术、应用等方面都获得了明显的延伸与拓展。无人平台的智能化发展主要从基础研究、关键技术、重大装备、人才培养等 4 个层面展开(如图 7 所示),各个层面互相支撑、交叉融合,共同提升无人平台的智能化水平。

基础理论研究层面包括无人平台的感知理论、认知理论、决策理论和控制理论。无人平台感知理论中的智能化内容包括多模态数据融合、小样本/弱泛化数据的智能解析、隐私保护的分布式学习算法、复杂环境的主动感知理论。无人平台认知理论中的智能化内容包括可解释的学习认知理论、对抗欺骗下的认知理论、开放/非结构化环境的建模、突发性事件的智能化预测与定位。无人平台决策理论中的智能化内容包括复杂/非结构化的路径规划、基于博弈和优化的分布式多目标决策、多无人平台的自组织与智能涌现机理、对抗条件下的在线决策。无人平台控制理论中的智能化内容包括人机协作的混合增强智能控制、协同优化与博弈控制、基于学习的控制、多模态机器人控制、类脑与仿生控制。

关键技术研究层面包括无人平台的感知技术、认知技术、决策技术和控制技术。无人平台感知技术中的智能化内容包括多传感器信息融合技术、跨模态跨尺度信息配准和融合技术、异构无人平台的安全交互技术、集群协同态势感知和共享技术。无人平台认知技术中的智能化内容包括拒止环境下协同定位技术、开放环境的环境建模、人机协同的环境认知技术、分布式的环境建模与定位技术。无人平台决策技术中的智能化内容包括拒止环境下导航与规划技术、多无人平台自组织技术、协同决策与博弈技术、多无人平台的冲突消解技术、多无人平台的智能交互技术。无人平台控制技术中的智能化内容包括有人/无人协作智能控制技术、人机交互控制技术、弱通信条件下自主智能控制技术、仿人平台控制技术。

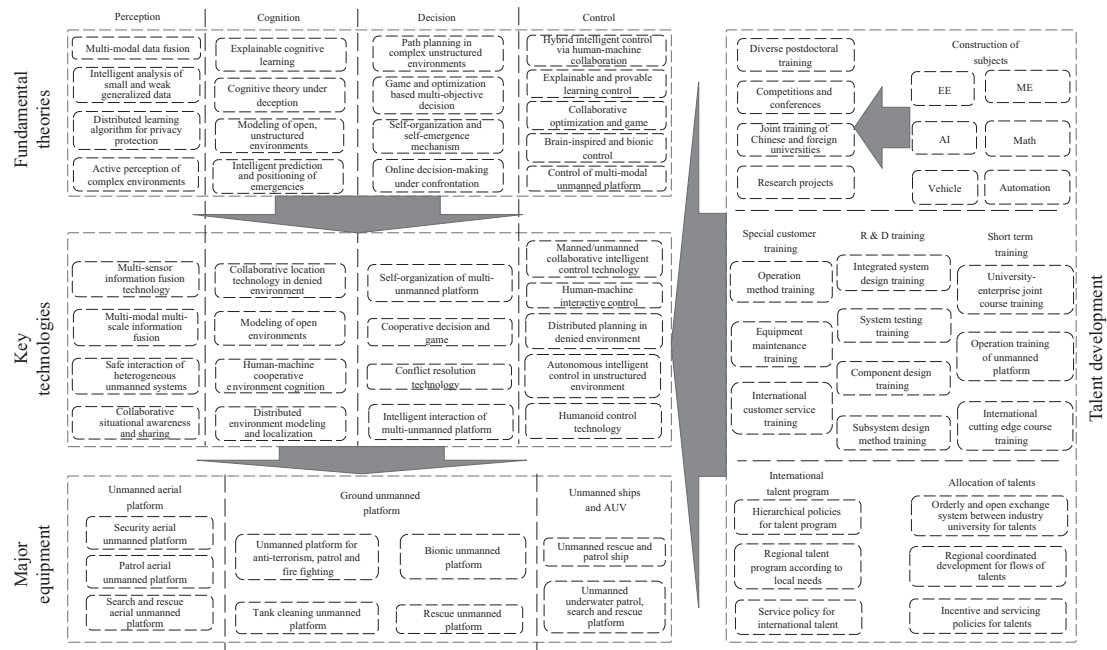


图 7 无人平台的智能化发展架构

Figure 7 Architecture of intelligent development for unmanned platforms

重大装备层面的智能化包括研发智能化的空中无人平台、地面无人平台和水下无人平台. 空中无人平台的智能化装备包括安防空中无人平台、巡检空中无人平台、搜救空中无人平台. 地面无人平台的智能化装备包括反恐/巡逻/消防无人平台、仿生特种无人平台、油罐清洗无人平台、救援无人平台. 水下无人平台的智能化装备包括水面救援/巡逻无人平台、水下巡检/搜救无人平台.

人才培养层面包括无人平台智能化发展相关的人才教育、人才培养、人才引进和配置. 人才教育方面包括无人平台智能化所需要的相关学科的建设 (自动化、电气、数学、机械、车辆、人工智能等), 借助国外智力和教育资源联合培养人才, 充分利用和培养高校、研究院、企业的博士后人才, 通过设立科研计划、举办国际竞赛和会议培养人才. 人才培养方面包括针对学生和企业人才的短期的理论培训、技术研发培训、针对客户的专题培训等, 通过定期培训提高智能化无人平台的研发和使用能力. 人才引进方面包括重视中青年人才的层次化人才引进政策, 建立避免同质化的、因地制宜的区域人才引进计划, 建立完善的国际人才服务政策. 人才配置方面包括制定有序、开放的产学研人才交流体制, 建立区域协调发展的人才流动制度, 建立注重知识产权和市场规律的人才激励保障机制.

4 科学问题、关键技术、装备需求与人才培养

结合我国面向高危行业的无人平台智能化发展的现状、需求和不足, 提出基础理论、关键技术、重大装备、人才培养等方面需要攻克和解决的挑战和问题.

4.1 科学问题

无人平台智能化的研究可以从单体无人平台、集群无人平台、群组无人平台 3 个角度切入, 对智能无人平台进行系统、深入的研究, 突破当前无人平台系统面临的脆弱性、不可预见性、弱可解释性

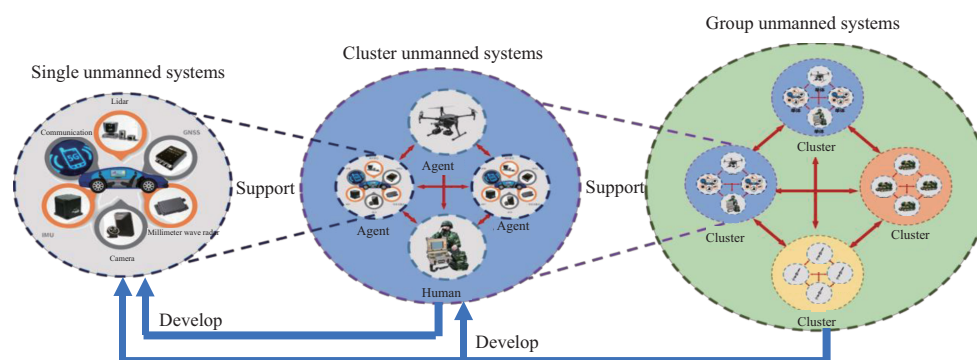


图 8 (网络版彩图) 智能化无人平台
Figure 8 (Color online) Intelligent unmanned platforms

等瓶颈问题. 其中, 单体无人平台是无人平台智能化研究的基本单元; 集群无人平台由多个相互作用的单体无人平台组成, 可以完成单个无人平台不能完成的复杂任务; 群组无人平台是由多个交互博弈的集群无人平台组成的, 是集群无人平台发展的更高层次架构. 它们间的关系如图 8 所示.

4.1.1 单体无人平台

(1) 无人平台的类人主动感知. 研究无人系统单体环境感知模型, 建立复杂环境量化及语义描述, 建立多模态认知融合策略, 构建交互感知大数据, 探索智能无人系统单体类人主动感知机理.

(2) 时序逻辑驱动的多任务调度理论. 研究时序逻辑驱动的多任务调度理论, 结合逻辑和统计学习建立满足时序逻辑约束的多任务调度理论, 扩展无人平台执行实际任务的能力, 实现满足安全性的无人平台自主任务调度.

(3) 面向非结构化环境的感知增强理论. 研究面向非结构化环境的多模态数据感知模型, 建立复杂遮挡环境的多传感器感知方法, 提高机器人对实际高危环境的适应性, 实现环境精准感知与有效决策辅助.

4.1.2 集群无人平台

(1) 信息不完备条件下的深度协同感知与认知. 研究基于分布式边缘计算的特征提取与融合, 实现具有在线自学习能力的深度协同感知; 研究场景语义的智能提取方法, 设计态势时空表征新模式, 实现分布式意图理解与态势感知的全局一致.

(2) 智能涌现生成的自组织机制. 研究集群协同所蕴含的交互规则和激励机制, 建立分层次、多尺度的智能解析理论, 揭示群体智能涌现机理; 剖析群体智能与单体交互之间的可计算、可解析和可表达的映射关系, 建立群体智能涌现的自组织机制.

(3) 基于区块链的集群无人平台系统理论. 研究以区块链为核心的集群无人平台新型网络结构、自主可控的核心密码技术、数据可信传输与存储、任务合约与共识、发行与分配机制等关键技术, 建立无人平台跨区域、跨网络、跨系统的集群化装备互联互通与任务分布协同的信用体系, 保证重大任务的网络协同过程、可靠运行过程、安全防护过程的数据一致性和可信性.

4.1.3 群组无人平台

(1) 跨层级群组的结构与功能耦合分析. 研究集群无人平台子系统内部与子系统间的耦合模型, 探析异构中心性、社团性等结构性特征; 构建群组系统中高维度多元化数据融合模型, 实现结构性与功

能性定量分析.

(2) 异构异属的群组动态博弈与交互演进规律. 研究集群无人平台子系统之间博弈演进规律, 探究不同层级系统动态性及动力学规律; 探索群体之间依赖与制约关系, 解析智能群组系统智能形成与动态演进.

4.2 关键技术

随着无人平台应用场景的扩大, 关键核心技术也需要人工智能、新的基础设施相结合实现引领式发展. 推进无人平台向智能化发展, 需要关注和解决以下关键技术.

4.2.1 单体无人平台

(1) 无人车平台. 结合人工智能技术, 研究具有驱动传动链短、高效、紧凑等突出优点的分布式驱动技术、无人车平台底盘全线控技术和人在回路遥控技术. 充分发挥轮胎附着力, 提高桥间、轮间驱动力分配灵活性, 增强复杂地形环境下的适应性, 大幅提高无人车辆的综合性能.

(2) 无人机平台. 研究测控链路技术、飞行态势智能感知技术、导航定位与规划技术、飞行控制律设计与重构技术、智能自主行为决策技术以及飞行安全管理技术, 实现无人机平台大小灵活、续航时间长、过载大、飞行速度与空域范围广等目标.

(3) 无人平台自主行为知识发育. 研究能够自组织、自适应的任务行为知识图谱, 建立自主行为评价体系, 建立兼具表征能力、推理能力、决策能力的可解释知识学习发育方法.

(4) 无人平台单体共融安全交互. 建立无人系统单体交互安全行为模型, 构造自主交互安全评价方法; 探索无人系统单体人-机-环交互态势预测方法与控制策略, 突破无人系统单体交互本质安全的瓶颈问题.

4.2.2 集群无人平台

(1) 地面无人平台协同的多模态感知技术. 研究特征学习与分布式环境建模技术, 解决恶劣环境下无人平台感知交互能力受限影响任务执行的问题, 实现大范围、多障碍环境的协同感知能力.

(2) 云、端融合的多地面无人平台指挥技术. 打破传统协同控制体系, 构建云平台与本机结合的多平台指挥控制系统, 实现大范围、多个体、复杂任务的协同指挥能力, 提供多平台智能涌现与群体决策的途径.

(3) 动态不确定环境下的自适应协同控制. 研究非合作行为与网络拓扑的耦合关系, 设计具有自愈合、自诊断能力的分布式协同控制律, 实现不确定环境下的自适应协同控制; 研究人机协作深度融合框架, 探索人机多模态交互规律, 完善人类意图的形式化描述方法, 提高应对突发事件的人机智能协同能力.

4.2.3 群组无人平台

(1) 环境交互的智能群组自适应与最优控制. 研究分析群组系统结构性可控机理, 探索群组系统功能性最优设计; 形成跨层次不同维度自适应与最优控制策略, 实现群组系统自适应调节与控制.

(2) 基于区块链的可信互联与信息交互技术. 研究区块链中共识机制、加密算法等技术, 优化无人平台间信息验证与交互, 实现集群无人平台交互网络的优化与信息处理效率的提升.

4.3 装备需求

近年来, 无人装备相关的平台技术、传感器技术、指挥控制技术、通讯技术等各项技术均有较大

进展. 这些技术的进步令新型无人装备不断涌现, 各种无人装备的性能迅速提高. 然而, 很多高危行业的危险作业仍需人工来完成, 随着一系列重大安全生产事故的频发, 特种、危险作业环境急需替代人工, 实现高效、安全、智能作业. 各种各样的无人装备已经开始在探测、排雷、排爆以及特殊环境数据传输等困难度较大的危险任务中崭露头角, 是未来无人装备的重要方向.

为实现面向安全的无人平台智能化应用, 提出以下需要重点研发的装备.

4.3.1 移动救援智能地面医疗平台

针对自然灾害和社会应急场景, 提升移动救援队的“智能”与“协同”能力, 集成智能无人诊疗、远程治疗、无人检测与消毒、无人调配物资等能力, 建立移动灵活、快速反应、安全可靠的“智能移动医疗平台”, 完成“人工智能 + 移动救援”深度融合, 提升移动救援队的智能化和无人化程度.

4.3.2 扫雷排爆无人平台

针对战场和边境地区扫雷排爆等恶劣工作环境, 以提升无人平台的“机动性”和“可靠性”为手段, 以减少人员的参与为目的, 集成全地形行驶、全天候智能排爆、无线视频通讯、无线/有线遥控等能力, 开发具备高机动、高可靠的扫雷排爆无人平台, 提升扫雷排爆的智能化水平.

4.3.3 水面、水下、特种无人平台

针对水面及水下大尺度、大视野、大空间应用场景, 提升自主作业和自主规划能力, 集成多机器人目标自主探索和识别、目标自主抓取、多机器人协同规划和控制等能力, 建立水面/水下共生的智能无人空间站, 完成机器人布放回收、能源补充、信息交互、任务协同、环境评测等重大任务, 为深海资源、科学、军事等应用提供支撑.

4.3.4 空中无人平台

针对灾害救援、突发公共事件、应急处理等高危行业应用需求, 发展在高危环境下具有空中遥感探测、应急运输、精准投放、协同作业等多功能无人机系统, 实现高危行业应用无人机系统有效地融入国家应急救援体系, 提升高危环境下空中应急处理能力.

4.4 人才培养

现如今, 智能化无人平台正在大量涌入军事及民用领域. 为了适应新的任务要求和发展形势, 高素质人才正逐步成为相关领域未来发展的核心要素.

4.4.1 人才培养体系

目前我国在人才培养方面仍处于起步阶段, 为解决现阶段存在的问题, 人才培养体系应逐步向复合型、多层次、国际化、理论结合实践的方向发展. “复合型”是指培养多学科交叉的复合型人才, 通过在机械、电气、控制、车辆、通信、数学等传统专业开设人工智能双学位和人工智能方向等, 解决无人平台维护研发人员知识储备不足的问题. “多层次”是指人才成熟度多层次, 在高层次培养出能够在无人平台智能化领域中牵引技术发展方向领军人才, 在中层次创新岗位上培养具有突出学术造诣和技术水平的学术技术带头人, 同时在中青年科学家的数量上具有足够的人才储备. “国际化”是指通过联合培养、短期交流、参加国际会议等方式培养人才的国际化思维与理念, 国际化视野与意识, 使人才具备国际学术交流能力, 扩大国际影响力. “理论结合实践”是指由传统的培养主体学校单一化模式转向产学研的合作模式, 将理论与实践相结合, 学校与产业相融合, 企业逐步成为人才培养新阵地.

4.4.2 人才培养

随着人才培养体系的不断改进, 人才培养方式也将作出相应的改变, 逐步走向培训方式多目标化、国际化以及学习实践一体化。“多目标化”是指未来将会把人才培养目标与事业发展方向、岗位、科技需求等紧密联系起来, 根据不同培训目标制定不同的人才培训方式, 通过职业教育和在职培训相结合的方式, 对消防、安防、反恐、救灾等领域的在职人员进行技术、维护和管理方面的培训; “国际化”是指培养方式的制定将会更加注重国际化培训, 将引进海内外高质量的教学资源进行国内授课、辅导, 同时提升对国际用户的培训能力; “学习实践一体化”是指培养方式将趋于校企合作方式, 学生到企业实习, 企业捐助研究, 旨在加强人才实践能力以及学以致用能力。

4.4.3 人才配置

在国际人才引进方面, 除了重视高端国际人才的引进, 还要注重中青年人才的大量引进, 保证我国在无人平台智能化方面有足够的智力储备; 同时根据地区的产业特点因地制宜地制定引进政策, 避免各地区同质化竞争; 保障好国际人才的服务政策, 使得国际人才可以迅速适应国内环境, 为我国提供智力贡献。在人才的流动配置方面, 要建立有序、开放的产学研人才交流体制, 使得高校教师可以进入企业科研一线、企业专家进入高校从事教学, 打破高校、企业间人员流动的障碍; 制定各区域协调发展的人才流动制度, 避免区域间人才恶性竞争; 建立人才知识产权保障和转化机制, 激励人才的科研和创业积极性。

5 对策建议

为了加快面向高危行业的无人平台智能化发展进程, 使我国在反恐、救灾、应急等行业的智能无人平台水平处于国际领先, 对国家资助机制和相关政策提出如下建议。

5.1 发布相关重大项目, 进行一体化部署

建议工业和信息化部与国家自然科学基金委员会成立联合基金, 共同支持面向高危行业的无人平台基础与前沿科学技术问题研究。建议以智能无人搜索救援队、无人系统智能医院为典型应用场景, 设立自主智能无人平台的重大专项、重点研发计划, 从而提升我国面向高危行业的智能无人平台自主研发能力。

5.2 统筹基础理论与关键技术研究, 紧密结合实际需求

建立高校、企业、研究院充分参与的面向高危行业无人平台智能化的国际化研讨会, 定期讨论和交流无人平台的智能化相关理论与关键技术布局, 使基础理论和关键技术的研究与实际需求充分结合, 重点攻关世界前沿的共性科学问题和关键技术问题。

5.3 制定相关技术标准, 规范行业市场

整合国家相关部委、企业、科研院所、高等院校、行业组织等多方资源, 以市场需求为导向、以龙头企业为核心推进智能无人平台系统的技术标准、信息标准、应用规范等标准体系的制定, 推进通用标准化建设。

5.4 加强人才培养,完善教育体系

建议教育部牵头,加强高危行业与新一代人工智能等前沿学科交叉融合,扩大相关方向的研究生招生名额.将管理人员、操作人员、维护人员作为复合人才重点培养,建立跨领域立体人才培养体系.建立实习实训基地,将高危行业无人平台智能化装备的新技术、新知识纳入相关培训体系,对高危行业从业人员进行在职培训.

6 结论

本文聚焦于灾害救援、突发公共事件、应急处理等高危行业中的无人平台的智能化发展.首先,从基础理论、关键技术、重大装备和人才培养等4个方面对无人平台智能化发展的国内外现状、我国的需求和不足进行了分析;之后,梳理了无人平台的智能化发展架构,提出了我国在基础理论、关键技术、重大装备、人才培养等方面需要攻克和解决的挑战和问题;最后,为了加快我国面向高危行业的无人平台智能化发展进程,对国家资助机制和相关政策提出了建议.

参考文献

- 1 Nebot E. Robotics: from automation to intelligent systems. *Engineering*, 2018, 4: 446–448
- 2 Chen F, Ren W. On the control of multi-agent systems: a survey. *Found Trend Syst Control*, 2019, 6: 339–499
- 3 Chen J, Xin B. Key scientific problems in the autonomous cooperation of manned-unmanned systems. *Sci Sin Inform*, 2018, 48: 1270–1274 [陈杰, 辛斌. 有人/无人系统自主协同的关键科学问题. *中国科学: 信息科学*, 2018, 48: 1270–1274]
- 4 Chen J, Fang H, Xin B. *Cooperative Cluster Motion Control of Multi-agent System*. Beijing: Science Press, 2017 [陈杰, 方浩, 辛斌. 多智能体系统的协同群集运动控制. 北京: 科学出版社, 2017]
- 5 Pannisi E. Cooperative ‘bots’ don’t need a boss. *Science*, 2014, 346: 1444–1449
- 6 Li S, Batra R, Brown D, et al. Particle robotics based on statistical mechanics of loosely coupled components. *Nature*, 2019, 567: 361–365
- 7 Rahwan I, Cebrian M, Obradovich N, et al. Machine behaviour. *Nature*, 2019, 568: 477–486
- 8 Jia S, Zhang W C, Wu H, et al. Development status and trend of rescue robot. *Chin Medical Equipment J*, 2019, 40: 90–95, 100 [贾硕, 张文昌, 吴航, 等. 救援机器人研究现状及其发展趋势. *医疗卫生装备*, 2019, 40: 90–95, 100]
- 9 Hamann H. *Swarm Robotics: A Formal Approach*. New York: Springer International Publishing, 2018
- 10 Chen J, Chen B, Sun J. Complex system and intelligent control: theories and applications. *Front Inform Tech Electr Eng*, 2019, 20: 1–3
- 11 Zhang T, Li Q, Zhang C S, et al. Current trends in the development of intelligent unmanned autonomous systems. *Unmanned Syst Tech*, 2018, 1: 11–22 [张涛, 李清, 张长水, 等. 智能无人自主系统的发展趋势. *无人系统技术*, 2018, 1: 11–22]
- 12 Zhao S Y. Artificial intelligence strategy interpretation: new robot strategy in Japan. *Telecommun Network Technol*, 2017, 43: 45–47 [赵淑钰. 人工智能各国战略解读: 日本机器人新战略. *电信网技术*, 2017, 43: 45–47]
- 13 Liu Y H. Interpretation of national strategies for artificial intelligence: a roadmap for US robotics. *Telecommun Network Technol*, 2017, 2: 39–41 [刘耀华. 人工智能各国战略解读: 美国机器人发展路线图. *电信网技术*, 2017, 2: 39–41]
- 14 Yang C, Wei H A. Comparative study on the text evaluation of robotics technology roadmap among US, EU, Japan and China. *Sci Sci Manag S-T*, 2017, 38: 24–34 [杨超, 危怀安. 中外机器人技术路线图文本评价比较研究. *科学与科学技术管理*, 2017, 38: 24–34]

On the intelligent development of unmanned platforms in high-risk industries

Jie CHEN^{1,2}, Hao FANG^{2*} & Xianlin ZENG²

1. *Tongji University, Shanghai 200092, China;*

2. *Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China*

* Corresponding author. E-mail: fangh@bit.edu.cn

Abstract With the development of AI technology and “New Infrastructure Construction”, the intelligent development of unmanned platforms becomes significantly important for high-risk industries such as rescue activities in disasters, public emergencies, and emergency treatments. It will promote the safety and health of people and enhance capabilities for the national emergency and governance. This paper analyzes the current intelligent development of unmanned platforms for high-risk industries such as counter-terrorism, rescue activities in disasters, and emergency treatments. This paper summarizes the domestic and foreign current situations and development trends in four aspects: basic theories, key technologies, major equipment, and talent development. Based on the current situations, needs, and deficiencies of the intelligent development of unmanned platforms for high-risk industries of China, this paper proposes future challenges and problems for basic theories, key technologies, major equipment, and talent development. Moreover, this paper proposes high-level strategic planning and suggestions for the intelligent development of unmanned platforms for high-risk industries.

Keywords high-risk industry, unmanned platform, intelligent development, artificial intelligence, strategy and suggestion



Jie CHEN was born in 1965. He has received his B.S., M.S., and Ph.D. degrees from Beijing Institute of Technology (BIT), Beijing, China, in 1986, 1996, and 2001, respectively. He is currently the president of Tongji University, Shanghai, China. He is also a professor at the School of Automation, BIT, and serves as the director of the Key Laboratory of Intelligent Control and Decision of Complex Systems, BIT. His research interests include complex systems, multiagent systems, multiobjective optimization and decision, constrained nonlinear control, and optimization methods.



Hao FANG was born in 1973. He received his B.S. degree in automation from the Xi'an University of Technology, Xi'an, China, in 1995, his M.S. and Ph.D. degrees in control theory and applications from Xi'an Jiaotong University, Xi'an, in 1998 and 2002, respectively. Since 2011, he has been a professor at the Beijing Institute of Technology, Beijing, China. His current research interests include all-terrain mobile robots, robotic control, and parallel manipulators.



Xianlin ZENG was born in 1985. He has received his B.S. and M.S. degrees in control science and engineering from the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, in 2009 and 2011, respectively, and his Ph.D. degree in mechanical engineering from the Texas Tech University in 2015. He is currently an associate professor in the Key Laboratory of Intelligent Control and Decision of Complex Systems, School of Automation, Beijing Institute of Technology, Beijing, China. His current research interests include distributed optimization, distributed control, and distributed computation of network systems.