

· 科学论坛 ·

# 智能群系统的衍化与协同

——第 252 期双清论坛学术综述

陈杰<sup>1,3</sup> 樊邦奎<sup>2</sup> 邓方<sup>3</sup> 何斌<sup>1</sup> 曾宪琳<sup>3</sup> 杨庆凯<sup>3</sup>  
张瑞雨<sup>2</sup> 韩军伟<sup>4</sup> 丛杨<sup>4</sup> 王志衡<sup>4</sup> 张兆田<sup>4</sup> 吴国政<sup>4\*</sup>

1. 同济大学,上海 200092
2. 北京市信息技术研究所,北京 100094
3. 北京理工大学,北京 100081
4. 国家自然科学基金委员会 信息科学部,北京 100085

**[摘要]** 基于国家自然科学基金委员会第 252 期“双清论坛”,本文总结了人工智能、无人系统、复杂系统近年来所取得的主要进展和发展趋势,并在此基础上提出了智能群系统的新概念,阐述了智能群系统在解决社会治理和公共卫生事件应急管理所面临的重大需求中的重要作用,定义了智能群系统的内涵与外延,凝炼了智能群系统的衍化与协同等重要基础科学问题以及相应的跨学科资助模式,研讨今后 5~10 年的基础研究重点资助方向,力争进一步推动我国智能群系统理论、方法和技术实质性发展和应用。

**[关键词]** 智能群系统;衍化与协同;社会治理;基础研究

## 1 背景与“智能群系统”概念的提出

### 1.1 学科与技术的发展趋势

新一代人工智能发展规划已成为我国的国家战略,人工智能正在改变世界的现在和未来,将对未来社会治理、人类健康、经济发展产生重大而深远的影响。新一代人工智能依托互联网、大数据技术,正在向理论深度与应用广度方向迅猛发展,成为国际竞争的新焦点、经济发展的新引擎,通过与产业发展的广泛结合,必将引领未来技术创新,推动产业升级,成为信息技术和社会发展新动能。习近平总书记在致 2019 年第三届世界智能大会的贺信中指出:“在移动互联网、大数据、超级计算、传感网、脑科学等新理论新技术驱动下,人工智能呈现深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放、自主操控等新特征,正在对经济发展、社会进步、全球治理等方面产生重大而深远的影响。”

进入 21 世纪以来,以人工智能、量子信息、移动



等相关学科领域的教学与科研工作。

**陈杰** 教授,中国工程院院士、IEEE Fellow、IFAC Fellow、同济大学校长。“复杂系统智能控制与决策”国家重点实验室主任、国家杰出青年科学基金获得者、教育部长江学者奖励计划特聘教授、国家自然科学基金委基础科学中心负责人、创新研究群体学术带头人、973 项目首席、新世纪百千万人才工程国家级人才、全国优秀科技工作者。长期从事控制科学与工程



**吴国政** 博士,国家自然科学基金委员会信息科学部三处处长,主要研究方向为人工智能。

通信、物联网、区块链为代表的新一代信息技术加速突破应用,新一代人工智能等信息技术已经成为大国博弈角力点。2018 年 11 月 19 日,美国商务部工业安全署宣布禁止对中国出口人工智能等 14 类代

表性新兴技术；2019 年 12 月，再次禁止出口针对无人系统的地图、软件、高精度光学感知器件有关技术，对我国进行人工智能领域的全面智力封锁。但与此同时，我国人工智能基础科学研究面临着重大原创性成果缺失、关键核心技术受制、顶尖人才和团队缺乏等问题。

人工智能正在促进智能无人系统与机器人应用、大数据学习与挖掘、区块链与数据安全等要素的互相融合。当前，各类用途各异、性能不同、功能多样的同构/异构无人系统、无人平台的不断涌现；多源异构的大数据等各行业的数据不断积累，这些行业的数据积累进一步支撑行业模型以及数据利用和开发，形成了新的行业态势；以区块链技术、联邦学习算法等为代表支撑数据安全利用和进一步数据挖掘利用；边缘端信息采集和云端大数据学习等支撑了无人系统在各行业的进一步应用，通信、计算、控制需要进一步融合理论以支撑无人驾驶、自动工厂、智能医疗、智能城市等智能系统的应用<sup>[1]</sup>。

从“以云为中心”转向云边端融合，人工智能向边端发展的趋势正在加快<sup>[2]</sup>。随着 5G 的大规模部署，小样本、低质量、无标记数据等学习方法突破，迁移学习、深度强化学习等新算法在边缘端的应用，加速了边缘端智能的发展，降低了智能系统对高速数据通信的要求，降低了集中数据存储与处理的要求。同时，边端智能学习、自主控制、多智能体协同在未来具有更广阔的发展前景，也是重要挑战。

为了适应人工智能、无人系统、系统科学、大数据等的融合发展，陈杰院士及其团队在以往异构多智能体系统、复杂系统、无人系统的基础上，提出了“智能群系统”的概念，是人工智能、控制与系统科学、计算机科学、信息与通信系统等多学科的交叉，是科学与技术的结合，是未来学科发展的重要增长点。

## 1.2 智能群系统的内涵与外延

智能群系统是由多个具有不同智能的异构系统通过信息交互形成的人在回路的群体系统，是物理空间、信息空间、人类空间相互耦合、相互影响的复杂系统。智能群系统是信息—物理—人系统(CPHS)<sup>[3]</sup>、多智能体系统<sup>[4-7]</sup>、集群系统<sup>[8, 9]</sup>等多个研究领域和范畴交叉的系统。智能群系统的体系、理论方法是解决城市治理、公共安全等含有多单体智能的复杂群体问题的关键。当今的疫情防控系统、城市安全救灾系统、智慧教育系统、空天地一体

的智能无人系统、人/车/路一体的智能交通系统等，都是典型的智能群系统。

智能群系统的两个重要挑战是衍化与协同。

衍化带有繁衍、发育、进化的多重含义，是具有系统变化的演化过程，更能体现智能群系统演化、发育、进化、拓展的内涵。协同是指协调两个或者两个以上的不同资源或者个体，高效协同一致地完成某一目标的过程或能力。

智能群系统的重要特征包括：智能性、群体性、涌现性、开放性、内耗性和脆弱性。人类群体、多 CPHS 系统、群智系统、多个异构的智能机器人群体都可以视为智能群系统。人类疾病产生传播、网络信息涌现扩散可以看作是智能群系统的衍化和发展过程。智能群系统是人工智能<sup>[10, 11]</sup>、复杂系统<sup>[12-14]</sup>、无人系统<sup>[15, 16]</sup>的交集，如图 1 所示。

智能群系统具有三个特征：系统结构复杂，性能指标复杂，环境约束复杂。系统结构复杂：智能群系统在大范围、多个空间作业，其系统包物理空间中的无人系统、信息空间中的信息系统、人类空间的社会网络等，其中物理空间、信息空间、人类空间之间相互影响、耦合，子空间之间也是相互耦合影响；性能指标复杂：结合具体的任务和系统，每一个空间都有各自的性能指标，物理空间中需要充分考虑物理安全性、控制性能、能耗等指标，信息空间中需要考虑信息的安全和隐私保护、通信代价等指标，人类空间中需要考虑人的安全性、满意度、不确定性等指标，智能群系统具有多个目标特性，如何实现系统预测、合作与非合作博弈等；环境约束复杂：时间、空间、气候、电磁等智能群系统所处的外部环境复杂，其建模和计算十分困难。

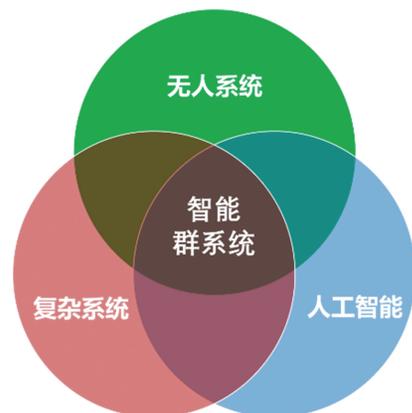


图 1 智能群系统是无人系统、复杂系统、人工智能的融合和交集

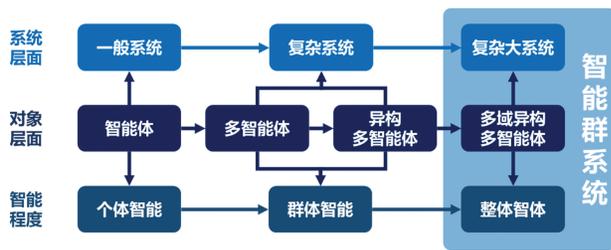


图2 智能群系统主要要素发展路线与相互关系

智能群系统在对象、智能程度、和系统等层面的发展脉络如图2所示：

对象的发展层面：智能体→多智能体→异构多智能体→多域异构多智能体；

智能程度的发展层面：个体智能→群体智能→整体智能；

系统的发展层面：一般系统→复杂系统→复杂大系统；

主要要素的相互关系：第一阶段是单个的智能体为对象的一般系统，智能程度是个体智能；第二阶段是由异构多智能体为对象的复杂系统，具有群体智能(Swarm Intelligence)；智能群系统是发展的高级阶段，是由多域异构多智能体组成的复杂大系统，具有整体智能(Collective Intelligence)。

智能群系统具有多维智能，涵盖个体智能、群体智能、整体智能。智能群系统中高智能水平的个体构成的群体可能表现出更强的群体智能，也可能表现出更差的群体智能。智能群系统行为复杂，系统结构复杂，环境复杂，存在安全性、博弈、进化问题。

与复杂网络的区别和关系：复杂网络<sup>[12, 13]</sup>是智能群系统的子集，复杂网络侧重于连接与交互，而智能群系统强调系统性、整体性、能动性和协同性；复杂网络强调内部的结构关系，关注局部特性，如连接度、竞争合作关系、交互作用等，研究复杂系统微观性态与宏观现象之间的作用机理，通过对微观局部的研究来揭示整体的性能、表征、特征，而智能群系统更强调如何利用跨维度的智能实现整体性行为表达和系统功能。智能群系统作为复杂系统，通常是一个研究对象，它的内部连接关系可以抽象成复杂网络的形式。这样，复杂网络成为了研究发展智能群系统的一个重要工具。

### 1.3 面向社会治理的智能群系统

十九届四中全会审议通过的《中共中央关于坚持和完善中国特色社会主义制度、推进国家治理体系和治理能力现代化若干重大问题的决定》明确了“推进国家治理体系和治理能力现代化的指导思想、

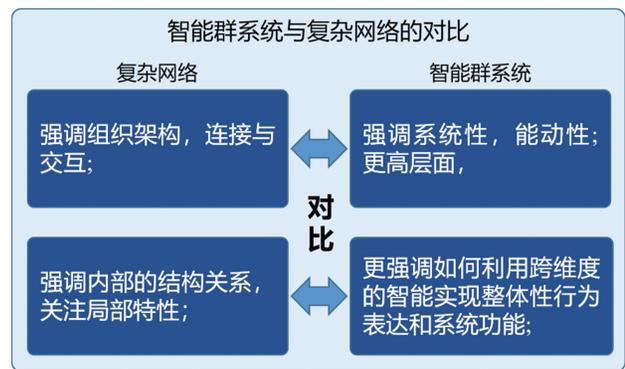


图3 智能群系统与复杂网络的对比

总体要求、总体目标和重点任务”。国家治理的重要内容之一是建设一流的公共卫生体系，完善重大疫情防控体制机制、健全公共卫生应急管理体系。习近平强调：“要鼓励运用大数据、人工智能、云计算等数字技术，在疫情监测分析、病毒溯源、防控救治、资源调配等方面更好地发挥支撑作用。”

社会治理中涉及到典型的智能群系统，以新冠肺炎疫情为例，当前与疫情有关的群系统包括病毒衍生系统、感知发现、病毒传播、信息扩散、社会资源保障、舆情与决策等多个群系统。新冠肺炎疫情是病毒衍化与人类社会发展的博弈对抗，在病毒的传播、预测方面存在着诸多难题：1) 发现难，有人故意隐瞒，无症状感染者；2) 检测难，定点离线检测，检测成功率低；3) 辨识难，信息真假难辨，国际舆论复杂；4) 难溯源，人员密集流动，传播媒介不明；5) 难决策，风险评估不准，决策手段缺乏；6) 难调控，调控时机难定，调控方式受限。

在新冠肺炎疫情的治疗和调控方面，目前人工智能等技术在快速患者检测、大数据防控、病毒溯源、风险评估、社会调控等方面的应用还有诸多亟待攻克的难题。体现在以下方面：1) 数据积累不足，人工智能在病毒传播扩散途径挖掘、病毒追溯等方面还没能发挥作用；2) 智能程度不高，医疗服务机器人精准感知、人机交互等智能化水平不足；3) 产品规范不力，市场上智能产品质量良莠不齐，缺乏相关评估规范和约束；4) 基础理论薄弱，人工智能基础理论、核心关键技术、基础元器件与国际存在较大差距。

智能群系统可能是解决上述难题的重要理论与技术基础，但自身面临体系架构不清晰、基础理论技术缺乏、应用前景不明确等多方面挑战。智能群系统需要解决人工智能自主学习、大数据挖掘、通信与控制安全、区块链、交互协同、异构群智等核心技术

难点,才能在智能城市、智能医疗、智能制造等多行业应用,也能促进例如网络空间群体免疫等创新的实现。面向社会治理中突发公共卫生事件等重大和实际需求问题,探讨智能群系统的核心难题、基本理论、重要方法和落地应用,并将其拓展应用于社会治理中的医疗、交通、公共安全等重要场景,具有重大的理论和现实意义,将为解决(疫情)控制难、(群众)看病难等痛点问题提供理论与技术支撑。

## 2 智能群系统衍化与协同的研究现状

智能群系统衍化与协同的研究方兴未艾。2014 年的 *Science* 的十大科学突破性进展描述了多体系统机器人的协作控制<sup>[17]</sup>,研究中机器人仅利用本地信息和邻居机器人的信息完成协作任务,不需要集中协调器,并指出传感器和地图信息技术的高速发展将推动合作机器人大面积应用。*Nature* 在 2019 年 3 月 21 日的论文<sup>[18]</sup>描述的群体机器人的研究,验证了 24 个物理机器人和 10 万个虚拟机器人的具有确定性行为的大规模集群运动(包括趋光性运动、物体运输等)。*Nature* 在 2015 年 5 月 17 日的论文<sup>[19]</sup>中提出仿生机器人群的重要应用,指出小型自主飞行机器人群将在未来运输、通讯、农业、救灾和环境保护等应用中发挥重要作用。*Nature* 在 2019 年 4 月 25 日的长文综述<sup>[20]</sup>讨论了机器行为学中的长期自治行为,指出通过研究机器人和机器群体的宏观行为规律,有望突破人工智能面临的脆弱性、不可预见性、弱可解释性等瓶颈。

虽然智能群系统衍化与协同已经取得了一些初步的成果,但仍在衍化、安全免疫、协同三个方面面临着诸多难题。具体来说:

- (1) (衍化方面)个体智能的繁殖、进化、衍变的机理。
- (2) (衍化方面)智能群系统的衍化极限是多少?
- (3) (安全免疫方面)智能群系统的脆弱性、安全性、免疫性。
- (4) (协同方面)智能群系统的可扩展性。
- (5) (协同方面)智能群系统感知、控制与协同的极限是什么?
- (6) (协同方面)实现智能群系统有效协同的最小通信、计算、控制的代价是多少?
- (7) (协同方面)可否实现在对通信、计算、控制、决策一体化,其统一架构是否可构建?

## 3 主要科学问题和研究方向

智能群系统的衍化与协同面临着三个方面的挑战,一是智能性方面,需要实现多源复杂、高动态的环境和信息的主动感知、协同感知和全域覆盖;二是协作性方面,需要考虑多约束、多目标的异构无人系统的协同、博弈与优化;三是自主性方面,需要实现智能涌现、发育进化的安全性和交互性。

为应对上述挑战,需要实现大范围复杂场景下全域的感知与认知,建立新一代多智能体系统的协同机理、优化和控制算法,全面提升智能群系统的智能度、鲁棒性与安全性。未来 5~10 年必须解决以下科学问题:

### 科学问题 1:智能群系统协同感知

针对复杂信息多源感知主动感知、协同感知的需要,建议对以下三个方向开展重点研究:类脑仿生的新型智能感知机理、任务驱动的自适应交互和感知网络、共享互补的协同感知模式。

类脑仿生的新型智能感知机理研究:智能群节点数量多,感知离散、被动,新型传感器与智能传感芯片不断应用,需要解决仿人感知模型的建立问题和智能群系统复杂作业环境全域理解问题。

任务驱动的自适应交互和感知网络研究:智能群规模大、运动快、交互复杂、控制难,感知节点异构、模态样式多、关联性强,面向特定任务和复杂环境约束,需要对机器人/无人系统/多智能体建立主动感知调动机制,并建立任务驱动、事件触发的主动感知交互模型及节点控制理论。

共享互补的协同感知模式研究:智能群系统联合协同作业需依赖态势感知与理解,然而态势感知融合共享任务需要考虑异构无人系统终端,进行分布式边缘融合、跨尺度的态势推演;无人平台的运行环境复杂,存在共享空间与干扰威胁,易发生相互碰撞,智能群系统感知、通信与计算相互耦合。因此,需要研究智能群系统感知、通信与计算相互耦合机理,实现全域态势感知与理解。

### 科学问题 2:智能群系统协作互融

智能群系统中个体异质智能差异大,组织多约束、边界模糊,交互方式多样,云端、边端智能相互缠绕,为解决该科学问题,建议重点研究以下三个方向:个体—环境—任务表征与交互机理、人机互融—复杂任务理解与智能分解、面向任务的群体协作与智能涌现。

个体—环境—任务表征与交互机理:通过人—机—环三元交互建模,面向全域知识的多层次、多粒度任务理解与智能推理,和面向协同任务的自学习理论与方法的研究,获得未来人—环境—任务的表征,建立组织方式、交互形式、角色分工、信息传递、不确定信息决策、效能激励与均衡等交互机理。

人机互融—复杂任务理解与智能分解:根据智能群系统的任务需要对任务特征进行理解,实现动态任务的实时分解,并进一步实现多智能体的交互与优化。

面向任务的群体协作与智能涌现:通过多源信息融合的全维感知与理解、任务驱动的交互式学习和任务强耦合情况下的自学习,实现智能群系统的协同控制与优化决策;研究智能群系统的协作机制、涌现机理和群体行为进化理论,实现群体间的协作交互与智能涌现。

#### 科学问题 3:智能群系统共生衍化

智能群系统的系统庞大与知识多样,任务更改与环境变化快,并且涉及到人机交互,为解决该科学问题,建议重点研究以下三个方向:云边端智能计算与自主学习、开放同融—可解释智能与群体多态行为以及共生衍化与信息免疫。

云边端智能计算与自主学习:建立结合云计算和边缘智能的智能群系统架构,通过自主学习实现数据、信息、知识、智能的提炼和获取,结合智能计算与知识迁移建立系统的智能演化方法。

开放同融—可解释智能与群体多态行为:通过自然分形方法来研究城市进化和发展过程,研究城市和社会中可解释智能与群体的多态行为。

共生衍化与信息免疫:实现从智能发育到人机默契协同的跨越,建构人机物三元共融的社会,实现异构共融,协同进化,安全服务。

## 4 智能群系统的典型应用

智能群系统在现实世界中具有广泛应用和优势。比如,*Nature* 在 2018 年 10 月 8 日的论文<sup>[21]</sup>指出微小型卫星的多集群将用于探索外太空,加速人类探索宇宙空间的进程,同时降低太空探索的成本。*Science Robotics* 在 2020 年 12 月 10 日的论文<sup>[22]</sup>提出对群机器人未来发展的思考,指出群机器人技术将通过利用自动设计、异构性和分层自组织来处理现实世界的应用,这些非传统机器人群的第一批部

署将用于精确农业、基础设施检查和维护以及非战斗性军事应用中。*Nature* 在 2021 年 5 月 26 日的论文<sup>[23]</sup>中提到通过结合边缘计算以及区块链的点对点网络协调,将智能群体学习方法应用于精确医学中检测和识别白血病,可以加快检测速度同时保持机密性。本节我们对智能群系统未来可能的三个典型应用场景进行了展望:

### 4.1 典型应用场景一——无人系统智能医院

无人系统智能医院在智慧医院建设的基础上,以自主智能无人系统技术为突破点,基于医院构筑人类社会、物理世界和信息世界的三元空间,可望解决人类健康与医疗面临的众多难题。无人系统智能医院最大程度应用无人系统相关技术开展医疗、科研、教学、服务和管理。针对患者看病难、医生压力大的问题,无人系统智能医院将打破原有架构,进行业务重构和流程设计,具体包括:就诊关口前移院外、诊前/诊后一体化智能服务,简化患者在院环节和在院时间;就诊融合一体化,实现线上线下、诊前诊后、不同医院一体化;配备预问诊机器人、导诊机器人,节省医生和护士的时间和精力;机器人协助管理和后勤服务,提高人工效率、降低交叉感染风险;电子化病历单、智能检查、智能检验,提高诊断效率和资源共享效率。结合新技术手段,应用物流、机器人、智能化设施和先进医学装备等,打造无人系统智能医院将从提高效率、提高安全性、减少传染等暴露等方面大幅提升“人工智能+医疗卫生”能级,全面深化医疗卫生领域人工智能场景开放,综合提高医院智慧化程度,加强应对突发公共卫生事件和灾难性事故的能力。

### 4.2 典型应用场景二——智能移动救援队

智能移动救援队在面向重大公共卫生安全、应急救援等事件中起到重要作用,以人工智能和自主无人系统为基础,建立模块化、智能化、少人化、少接触的救援队管控和作业能力,可望构建移动灵活、快速反应、安全可靠的“智能移动医院”。智能移动救援队的建设重点需要实现传染病防控无人化,研发应急医疗智能建造系统和装备,包括具有弹性空间、高适应性的临时建筑,便于运输和安装的集装箱式一体化污染物处理装备和智能管控系统,自主智能无人化接诊、无人化消毒、无人化配送、无人化的检查检验和治疗的自主智能系统等。智能移动救援队的建设将提升移动救援队的“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,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 典型应用场景三——城市低空治理

城市低空空域正在逐步开放,将释放巨大的经济潜能,并带来新的社会信息治理、安全治理等问题。智能无人机群是一种典型的智能群系统,在物流、植保、管线维护、环保监察、警用、军用、制造、服务等领域都具有巨大的应用潜力,需要建设云计算、大数据、人工智能等前沿技术的基础设施,构建低空物联网实现智能群系统的智能交互,建立低空态势协同感知能力,打造智能的低空导航系统和安全评估机制。

## 5 结 语

智能群系统是人工智能、无人系统、复杂系统理论交互演进的必然产物和必经阶段,智能群系统的衍化与协同基础理论研究对社会治理、公共卫生事件应急管理具有重要的支撑作用。由于智能群系统的复杂性和特殊性,它的基础理论研究仍然非常不足。因此,在未来 5~10 年,需要针对智能群系统衍化与协同的主要科学问题和我国社会治理重大需求,全面深入地开展信息、数学、医学、管理学等相关学科的交叉合作研究,并重点资助相关方向,提升我国智能群系统理论、方法和技术研究水平,推动我国社会治理能力的现代化发展。

### 参 考 文 献

- [1] 谭铁牛. 人工智能的历史、现状和未来. 智慧中国, 2019 (2): 87—91.
- [2] 章坚武, 王路鑫, 孙玲芬, 等. 人工智能在 5G 系统中的应用综述. 电信科学, 2021, 37(5): 14—31.
- [3] Sowe SK, Simmon E, Zettsu K, et al. Cyber-physical-human systems: Putting people in the loop. IT Professional, 2016, 18(1): 10—13.
- [4] Chen F, Ren W. On the control of multi-agent systems: a survey. Foundations and Trends® in Systems and Control, 2019, 6(4): 339—499.
- [5] 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(9): 1270—1274.
- [6] 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.
- [7] Fan B, Li Y, Zhang R, et al. Review on the technological development and application of UAV systems. Chinese Journal of Electronics, 2020, 29(2): 199—207.
- [8] Beni G, Wang J. Swarm intelligence in cellular robotic systems. Berlin, Heidelberg: Springer, 1993: 703—712.
- [9] Hamann H. Swarm robotics: a formal approach. New York: Springer International Publishing, 2018.
- [10] Russel S, Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach (Third edition). London: Pearson, 2015.
- [11] 周志华. 机器学习. 北京: 清华大学出版社, 2016.
- [12] Barabási A. Network Science. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2018.
- [13] 汪小帆, 李翔, 陈关荣. 复杂网络理论及其应用. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [14] Alexander S, Yaneer BY. An introduction to complex systems science and its applications. Complexity, 2020: 1—16.
- [15] Chen J, Chen BM, Sun J. Complex system and intelligent control: theories and applications. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2019, 20(1): 1—3.
- [16] 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(1): 11—22.
- [17] Pannisi E. Cooperative ‘bots’ don’t need a boss. Science, 2014, 346(6216): 1444.
- [18] Li SG, Batra R, Brown D, et al. Particle robotics based on statistical mechanics of loosely coupled components. Nature, 2019, 567(7748): 361—365.
- [19] Floreano D, Wood RJ. Science, technology and the future of small autonomous drones. Nature, 2015, 521(7553): 460—466.
- [20] Rahwan I, Cebrian M, Obradovich N, et al. Machine behaviour. Nature, 2019, 568: 477—486.
- [21] Levchenko I, Keidar M, Cantrell J, et al. Explore space using swarms of tiny satellites. Nature, 2018, 562(7726): 185—187.
- [22] Dorigo M, Theraulaz G, Trianni V. Reflections on the future of swarm robotics. Science Robotics, 2020, 5 (49): 4385.
- [23] Stefanie WH, Hartmut S, Joachim LS. Swarm learning for decentralized and confidential clinical machine learning. Nature, 2021, 594: 265—270.

## Evolution and Coordination of Intelligent Group Systems —Academic Summary of the 252<sup>nd</sup> Shuangqing Forum

Chen Jie<sup>1,3</sup>      Fan Bangkui<sup>2</sup>      Deng Fang<sup>3</sup>      He Bin<sup>1</sup>  
Zeng Xianlin<sup>3</sup>      Yang Qingkai<sup>3</sup>      Zhang Ruiyu<sup>2</sup>      Han Junwei<sup>4</sup>  
Cong Yang<sup>4</sup>      Wang Zhiheng<sup>4</sup>      Zhang Zhaotian<sup>4</sup>      Wu Guozheng<sup>4\*</sup>

1. *Tongji University, Shanghai 200092*

2. *Beijing Research Institute of Information Technology, Beijing 100094*

3. *Beijing Institute of Technology, Beijing 100081*

4. *Department of Information Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085*

**Abstract** Based on the 252<sup>nd</sup> Shuangqing Forum of National Natural Science Foundation of China, this article summarizes the main progress and development trends of artificial intelligence, unmanned systems, and complex systems in recent years. Besides, this article also puts forward a new concept of “intelligent group systems” and elaborates the importance of intelligent group systems in solving the major national needs in social governance and public health emergency management. Moreover, this article defines the connotation and extension of intelligent group systems, and condenses fundamental scientific problems such as the evolution and coordination of intelligent group systems. Finally, in order to further promote the substantive developments and application of the theory, method and technology of intelligent group systems of China, this article discusses the interdisciplinary funding mode and the key funding directions of fundamental research in the next 5~10 years.

**Keywords** intelligent group systems; evolution and coordination; social governance; fundamental research

(责任编辑 刘敏)

---

\* Corresponding Author, Email: wugz@nsfc.gov.cn