

多无人平台在突发事件 应急管理中的应用

DUOWURENPINGTAI ZAI TUFASHIJIAN
YINGJIGUANLI ZHONG DE YINGYONG

宋志强 ○ 著



苏州大学出版社
Soochow University Press

多无人平台在突发事件应急管理中的应用

宋志强 著

苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

多无人平台在突发事件应急管理中的应用 / 宋志强
著. —苏州: 苏州大学出版社, 2017. 10
ISBN 978-7-5672-2250-2

I. ①多… II. ①宋… III. ①突发事件—公共管理—
研究—中国 IV. ①D63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 249203 号

多无人平台在突发事件应急管理中的应用

宋志强 著

责任编辑 王 亮

苏州大学出版社出版发行

(地址: 苏州市十梓街 1 号 邮编: 215006)

镇江文苑制版印刷有限责任公司印装

(地址: 镇江市黄山南路 18 号润州花园 6-1 号 邮编: 212000)

开本 787 mm×1 092 mm 1/16 印张 9.25 字数 226 千

2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5672-2250-2 定价: 30.00 元

苏州大学版图书若有印装错误, 本社负责调换

苏州大学出版社营销部 电话: 0512-65225020

苏州大学出版社网址 <http://www.sudapress.com>

前言 QIANYAN

针对当前应急管理机制无法有效应对突发事件的情形,有必要创新应急管理理论和方法,为今后高效应对突发事件特别是社会安全类突发事件提供有效的解决方案,以提升突发事件应急管理的水平。

本书在深入分析和总结多无人平台相关研究的基础上,提出将多无人平台应用于突发事件应急管理思想,综合运用管理学、系统科学、计算机科学、控制理论、应急管理理论等,构建基于多无人平台的突发事件应急管理解决方案,从管理和控制相结合的角度探索基于多无人平台的应急管理理论、方法和技术,并将其应用于突发事件的事前预警预防、事中应对处置、事后管理三个阶段,分别给出基于多无人平台的应急管理策略或解决方法,以期进一步增强未来我国在应对突发事件特别是社会安全类突发事件方面的应急管理能力,提高应急管理水平。主要研究内容与研究结果如下:

(1) 首先给出基于多无人平台的应急管理系统框架,对网络化多平台系统体系结构、多平台系统软件体系结构、有人平台人机协同交互界面等进行总体设计,设计多平台通信协议,为今后多平台应急系统的构建奠定基础。

(2) 研究同构无线传感器网络节点的栅栏覆盖部署问题,基于二部图理论,对 1-栅栏覆盖问题进行数学描述,采用基于拍卖的 1-栅栏构建算法求解该问题。提出基于异构移动传感器节点的覆盖漏洞检测和修复策略,以使被监测区域达到完全覆盖,保证在整个区域内的任何地点可能发生的异常情况均能被传感器监测到。

(3) 提出在“硬”数据传输机制和“软”信息云应急平台的基础上,构建基于软/硬数据的预警策略,构建社会安全类事件预警指标体系,为我国建立和完善社会安全类突发事件预警和应急管理体系提供理论参考。

(4) 采用离散粒子群优化算法对多无人平台多目标分配问题进行研究,结果表明,该算法可较快找到最优解或可行解。对多无人平台持续作业问题进行建模,提出混合整数线性规划模型,将多无人平台系统的调度问题形式化,使任务可被多个无人平台以

“接力”的形式不间断地执行。

(5) 系统研究了协同跟踪的三种模式,即对峙跟踪、尾随跟踪和接力型跟踪,丰富了目标跟踪理论及其应用。提出基于微分几何的协同对峙跟踪控制律,使得多个无人机与目标保持对峙距离,且各无人机间保持一定相位。设计了协同尾随跟踪控制律,该控制律可使多无人平台保持编队形式对运动目标进行尾随跟踪。设计了基于 Voronoi 图和 UGV 运动控制的接力型跟踪策略。

(6) 提出构建融无线个域网技术/无线局域网技术/无线城域网技术、移动通信技术(3G/4G)和卫星通信技术为一体的多无人平台参与的应急搜救系统,以有效应对日益严峻的突发事件。对于静止目标,基于平行线扫描思想对目标进行搜寻,研究无人平台投放策略及现场指挥中心选址问题。针对运动目标的情形,设计面向运动目标的平行线搜寻策略和 X 型搜寻策略两种协同搜寻策略,通过仿真、分析得出 X 型搜寻策略更优的结论。

目 录

MULU

第 1 章 绪 论

1

- 1.1 研究背景和意义 / 1
- 1.2 国内外研究现状与分析 / 4
- 1.3 研究方法和技术路线 / 13
- 1.4 研究内容和组织结构 / 14

第 2 章 基于多无人平台的应急管理系统框架

17

- 2.1 引言 / 17
- 2.2 网络化多平台系统体系结构设计 / 17
- 2.3 多平台系统软件体系结构设计 / 19
- 2.4 有人平台人机协同交互界面设计 / 29
- 2.5 多平台通信协议设计 / 31
- 2.6 本章小结 / 35

第 3 章 基于传感器网络的事前部署和监测研究

36

- 3.1 引言 / 36
- 3.2 基于栅栏覆盖的同构无线传感器节点部署研究 / 36
- 3.3 基于区域覆盖的异构传感器节点部署研究 / 41
- 3.4 基于多信息融合的预警策略研究 / 49
- 3.5 本章小结 / 55



第4章 多无人平台任务规划研究

56

- 4.1 多无人平台协同任务规划问题 / 56
- 4.2 多无人平台多目标分配问题研究 / 57
- 4.3 多无人平台持续作业调度问题研究 / 67
- 4.4 本章小结 / 73

第5章 多无人平台协同跟踪目标问题研究

74

- 5.1 多无人机协同对峙跟踪研究 / 74
- 5.2 多地面无人平台协同尾随跟踪研究 / 84
- 5.3 基于 Voronoi 图和 UGV 运动控制的接力型跟踪研究 / 90
- 5.4 本章小结 / 96

第6章 多无人平台参与的协同搜救问题研究

97

- 6.1 现有搜救系统介绍及改进方案 / 97
- 6.2 搜寻区域确定流程 / 100
- 6.3 面向静止目标的多无人平台协同搜寻研究 / 101
- 6.4 面向运动目标的多无人平台协同搜寻研究 / 105
- 6.5 本章小结 / 112

第7章 总结与展望

113

- 7.1 工作总结与创新点 / 113
- 7.2 展望 / 114

附 录 中华人民共和国突发事件应对法 / 116

参考文献 / 127

后 记 / 140

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

随着工业化和信息化进程的快速发展,世界各国人民在享受经济增长、科技进步的同时,也面临严峻的挑战和风险。各类因素引发的突发事件给人民生命和财产造成重大损失,甚至引发社会动荡。突发事件是指突然发生,造成或者可能造成严重社会危害,需要采取应急处置措施予以应对的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件。在过去的十几年里,各类突发事件频发,影响较大的自然灾害有 2004 年的印度尼西亚海啸、2005 年的美国卡特里娜飓风、2008 年的中国汶川地震、2010 年的海地地震和中国青海玉树地震等;影响较大的事故灾难有 2011 年的日本福岛核电站泄漏事故、2014 年的中国“12·31”上海外滩踩踏事件、2015 年的“东方之星”号客轮翻沉事件等;影响较大的公共卫生安全事件有 2003 年的 SARS 疫情、2009 年的甲型 H1N1 流感等;影响较大的社会安全事件有 2001 年的美国“9·11”事件、2014 年的“马航失联事件”(2015 年 1 月 29 日,马来西亚民航局宣布 MH370 航班失事,并推定机上 239 名乘客和机组人员已全部遇难)等。由于贫富分化、霸权主义、强权政治、文化冲突、极端民族主义、宗教极端主义等原因,恐怖主义活动猖獗,绑架、暗杀、爆炸、劫机、劫车、扣押人质等恐怖主义事件严重影响社会稳定和经济发展。恐怖主义事件可归结为突发事件中的社会安全事件。我国目前正处于社会转型的关键时期,恐怖主义事件已成为构建和谐社会的严重隐患。面对突发事件的严峻形势,党和国家把完善应急管理体制列为构建社会主义和谐社会的重要任务之一。

2012 年,美国空军学院开始进行一项“无人系统协同技术”的研究工作,进行不同类型多无人平台协同目标跟踪的研究,探索融合无人平台不同类型传感器的数据,以提高地理定位移动目标的准确性,加强作战优势。无人平台按作业位置可分为无人机

(Unmanned Aerial Vehicle, UAV 或 Unmanned Aircraft, UA)、无人车(Unmanned Ground Vehicle, UGV, 又名地面无人平台)、无人艇(Unmanned Surface Vehicle, USV)等。无人平台按自动化程度可分为半自主无人平台和自主无人平台。半自主无人平台可以在人的监控下作业,在遇到困难时操作人员可以进行遥控干预。自主无人平台可根据自身智能导航避开障碍物,独立完成各种任务。图 1.1、图 1.2、图 1.3 分别为无人机、无人车、无人艇的实物照片。无人平台具有零人员伤亡、持续作业能力强、成本低等优势,可以代替人执行枯燥、艰险的任务。

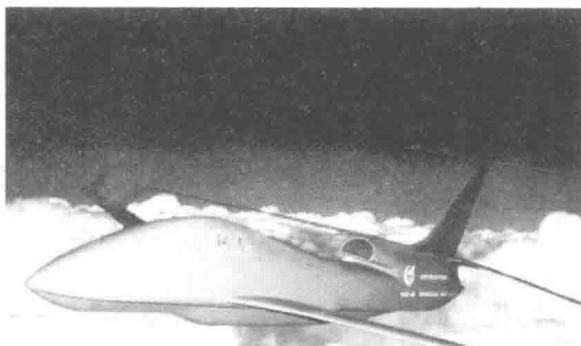


图 1.1 无人机



图 1.2 无人车

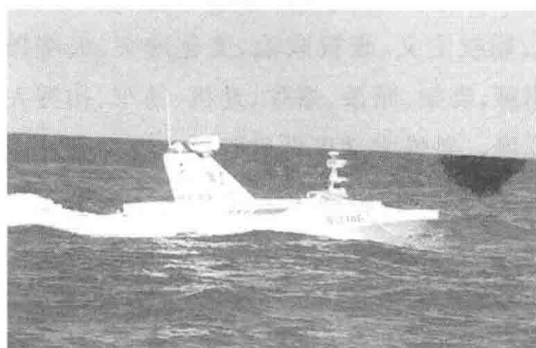


图 1.3 无人艇

自 1917 年英国人研制出世界上第一架无人机以来,无人机经历了近百年的发展历程。无人机在海湾战争、科索沃战争、阿富汗战争、伊拉克战争、利比亚战争中被广泛使用并表现优异,世界各军事强国都在积极研制本国的无人机^[1]。2011 年 2 月和 4 月,美国高智能化的作战型无人机诺斯罗普·格鲁门 X-47B、“幽灵射线”无人战斗机完成首飞;2014 年,美国多次出动无人机空袭 IS 极端武装组织。目前,无人机已逐渐进入空军作战武器行列,并已部分取代有人战斗机和轰炸机,承担部分空中打击任务。同时,无人机也逐步民用化,如利用无人机喷洒农药、航空摄影等。

无人车是近年来各国军方研制和装备的重要装备。2014 年,美军宣布将削减陆军 1/3 员额,为提高作战能力,美军计划大量装备无人作战车辆,跟随有人驾驶的坦克和车辆作战。民用方面,2010 年,奥迪无人驾驶自动汽车 TTS 行驶 12.42 千米,抵达落基山派克峰顶,同年,由 Google 无人驾驶汽车组成的 7 辆车车队开始在加州道路上试行。2011 年,中国国防科技大学制造的一辆无人驾驶汽车从长沙开至武汉。2012 年,Google 决定联合纳斯卡赛车(NASCAR),将自己的无人驾驶汽车跟真正的赛车一起比赛,以证明机器人比人类驾车技术要高,不过他们的无人驾驶汽车还需要经过各种检测才能最终驶向 NASCAR 的赛道。2014 年 5 月 28 日,Google 在 Code 大会上推出了无人驾驶汽车原型。和一般的汽车不同,Google 无人驾驶汽车没有方向盘和刹车。虽然 Google 的无人驾驶汽车还处于原型阶段,但该汽车行驶时不需要人来操控,软件和传感器取代了传统汽车的方向盘、油门、刹车等部件。Google 联合创始人谢尔盖·布林表示,目前 Google 无人驾驶汽车还处于初级阶段,Google 希望它可以尽可能地适应不同的使用场景,只要按一下按钮,就能把用户送到目的地。地面无人平台就是在地面上行驶的能执行特定任务的机器人,是机械化、信息化、智能化高度融合的机动平台。地面无人平台技术除军事应用之外,在民用方面也具有非常广阔的应用前景,如许多高温、高寒、荒漠区域,需要利用地面无人平台进行探测开发;另外,工业制造、农耕作业、科学考察、抢险救灾、排爆、救援、交通运输等领域都需要智能化的无人地面平台。2013 年,中国北方车辆研究所与俄罗斯、芬兰、德国三国研究机构签署技术合作框架协议,合作开发包括户外作业机器人在内的多项地面无人平台技术。2014 年 6 月 27 日,中国兵器工业集团公司下属中国北方车辆研究所成立兵器地面无人平台研发中心,其主要任务是开发军民用无人车辆和相关装备,这是中国目前规格最高的无人地面车辆研发机构^[2]。

继无人机后,美军又打算使用无人(驾驶巡逻)艇在“国际敏感海域”执行任务,以减少美军伤亡风险,进一步提升美国海军优势。美国海军研究处利用航天领域的火星车技术,装备 13 艘无人(驾驶巡逻)艇,于 2014 年 8 月进行了一次模拟演练。

恐怖主义事件均具有高度的危险性,即使派遣经验丰富的反恐专业人员应对此类问题,仍存在人身安全隐患。而无人平台具有零人员伤亡、持续作业能力强等特点,非常适合处理此类问题,如可利用无人平台跟踪被劫持飞机或被劫持车辆等。国务院发

布的《国家突发公共事件总体应急预案》和中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员第二十九次会议通过的《中华人民共和国突发事件应对法》标志着我国已初步建立了应急管理机制。但在实际应对突发事件时,存在明显的薄弱环节:

首先,预案体系建设有待进一步加强和落实。总体而言,我国的应急预案属于“纲领性”文件,内容较为简单,缺乏可操作性。

其次,物资装备水平有待进一步提高。一些专业应急队伍缺乏必要的资金和技术装备保障。

第三,监测预警网络体系有待进一步完善,预测、预报尚不够准确、及时。

无人平台不仅在军用方面,在民用方面也具有其潜在的应用,如灾难拯救、智能视频监控、海上搜救、空间探测和可穿戴计算等。多无人平台在发现、跟踪目标以及搜救等方面具有重要的应用价值,如可对目标持续监视、跟踪,以防止目标失联。国内外对于社会安全类突发事件缺乏有效的应对措施和系统研究,基于此背景,本书将多无人平台应用于此类突发事件的应急管理,以期应急管理理论和处置技术的发展做出贡献。

1.1.2 研究意义

本书从管控一体化和技术创新角度来研究应急管理,提出在事前、事中、事后三个阶段应对突发事件的思路,具有重要的理论和应用价值。本书的研究意义还表现在:

(1) 有利于应急监测预警网络体系的进一步完善。有利于加强监测、预警、预防等应急管理环节,争取将事件控制在萌芽状态。

(2) 促进多无人平台的理论和应用研究。单无人平台在探测能力和信息获取方面具有一定的局限性,多无人平台之间的协同可以完成单平台不能完成的任务。在应急管理的事中阶段,派遣多无人平台协同跟踪可疑目标,以防止目标失联。针对无人平台作业过程中可能出现的能量耗尽问题,研究自动补给站支持下的多无人平台持续不间断作业调度问题,以保证无人平台的安全性和任务的连续性。在应急管理的事后阶段,针对目标失联的情形,提出协同搜救的策略,以最大可能地发现失联目标。

(3) 有利于多学科融合和发展,从管控一体化角度解决应急管理问题,促进应急管理理论与实践的发展。

1.2 国内外研究现状与分析

1.2.1 应急管理

20 世纪以来,为有效应对突发事件,各国政府、组织和学者都加强了对突发事件的研究,并且在突发事件的概念、分类、分级、预防、应对等方面取得了丰富的成果,为突

事件应急管理提供了理论基础和决策依据^[3]。我国从2007年11月1日起正式施行《中华人民共和国突发事件应对法》，该法所称突发事件指自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件等。除自然灾害、事故灾难、公共卫生事件之外的，涉及政治、经济、生活等各方面的，能够对国家和社会的稳定与发展造成巨大影响的各种突发事件都可认为是社会安全事件，如恐怖袭击、经济危机、群体性事件等。突发事件可能会造成人身伤害、损害心理健康、造成财产损失、影响政府形象等。国内外学者针对突发事件应急管理开展了大量的研究。

应急管理理论研究方面，国外研究较多的是危机管理(Crisis Management)，Steven Fink^[4]认为危机研究和管理的目的是最大限度地降低人类社会悲剧的发生。J John J. Burnett^[5]在总结已有危机管理文献的基础上，创建了可用于评估危机严重性的模型。Lenneal J. Henderson^[6]将混沌理论应用于应急管理理论，对发展中国家开展应急管理具有指导意义。应急管理是管理领域的一门综合运筹学、信息技术、公共管理等交叉学科，到目前为止仍没有一个被普遍接受的定义。文献[7]将应急管理定义为面对紧急事件时的四个相互关联的行动：缓解(Mitigation)、准备(Preparedness)、响应(Response)和恢复(Recovery)，每个行动作为综合过程的一个阶段，总体目标是最小化管辖区内紧急事件造成的影响。文献[8]将应急管理定义成为预防、控制及消除紧急事件，降低其导致的人员伤亡、财产损失和环境破坏的程度而进行的计划、组织、指挥、协调和控制的活动，包括预防、准备、响应和恢复四个阶段。

应急管理实践研究方面，文献[9]结合中小型城市突发公共事件的特点，提出适合的应急管理预案。无线通信因其在农村地区可提供多媒体服务，有助于公共安全以及在紧急情况下的通信，特别是专为紧急情况设计的无线网络能够监控敏感区域，可使人们在灾难发生后立即相互联系，故近年来备受关注。文献[10]阐述了连接多个异构系统并能提供多媒体接入的无线网络的主要特性，该网络可很好地监视特定区域，在灾难情况下具有快速的响应能力，且在灾难管理阶段可有效地协调各方力量。文献[11]探讨了应对未来应急准备的协作应急管理的有效性，调查表明，灾前计划、应急管理人員和官员之间的沟通以及所采用的技术均对社会响应有显著影响。文献[12]在调查研究的基础上，提出适合于电力系统的电力应急管理平台总体框架并设计了综合应用系统。文献[13]以现代信息技术为基础，建立了适用于局部区域的灾害应急管理信息系统，用于辅助决策和快速查询资源。文献[14]指出，由于信息共享的缺失、非流畅的通信以及协同的缺乏，多个独立机构的协作无法完成，分析了可供多个组织采用的策略。文献[15]描述了实现应急管理联合响应系统(Emergency Management Combined Response System, EMCRS)的几种模型，其支持机构间协同问题的诊断，用于建模的数据通过训练得到，EMCRS模型由大量人机交互设计知识构成。文献[16]将多Agent系统的通信机制应用于城市应急管理系统，建立其通信模型并对城市应急管理中的信息协同机制进行了研究。文献[17]对突发公共事件与应急管理的概念进行了较为系统的分析，

得出其内涵定义。文献[18]借鉴国外的应急管理系统建设经验,从组织结构、人员、物资、资金、信息、法制、信息系统、社会参与等八个方面,给出了构建和完善应对突发事件的应急管理体系的建议。为解决人类判断的模糊性,文献[19]提出一种结合模糊逻辑和决策实验室分析法(DEMATEL)的方法,以增强应急管理的有效性。文献[20]通过对美国各州政府部门应急管理的调查,研究信息技术(IT)在应急准备和规划中的影响,研究表明,已有的IT对于应急管理的所有阶段均起作用,在应急管理中大量使用互联网、地理信息系统和无线技术。事件发生期间的过程评估对于辅助应急响应的决策至关重要,文献[21]分析了事件发生期间的过程评估的影响因素,并提出三种过程评估策略模型,即可缓解性(mitigability)、可营救性(rescuability)和可恢复性(recoverability),其定量表征事件和相应响应的演变,有助于在实际应用中作出适当的决策。基于物联网(IOT)技术的城市公共安全应急管理预警系统可实现全方位监控、准确预测和有效处理,对提高城市抵御突发公共事件的能力具有重要意义,文献[22]介绍了物联网在公共安全领域的应用,分析了系统软、硬件平台和系统功能。文献[23]提出将非结构化信息管理系统(UIMS)应用于应急管理。概念关系模型(CRM)和突发事件的动态知识流模型(DKFM)用于组织和表示应急知识,该模型可使决策者更好地了解有关紧急的不同概念之间的相关度。文献[24]研究如何使应急管理更具弹性,建议在开发未来的应急管理系统时考虑三个主要因素:通过早期风险预期进行前瞻性的应急管理、分布式的执行机构和新技术。文献[25]研究国内外突发的公共卫生事件的应急管理。文献[26]对铁路应急管理从其内涵、体系、机制等方面进行较为系统的研究,并建立了应急预案。文献[27]以2001年到2011年之间SSCI数据库中的相关文献为基础,分析得出应急管理起源于医疗卫生领域,目前前沿研究问题集中于实时生产监控、应急响应、恐怖主义等方面。情景可以帮助应急队伍了解应急预案定义中涉及的因素以及这些因素如何参与其中,文献[28]分析如何应用交叉影响模型来开发应急准备中的协作情景。文献[29]介绍了针对应急管理的支持团队工作的协作感知—决策系统,提出基于角色的多视角设计,以帮助团队成员分析地理空间信息、共享和整合关键信息,并监控各项活动,采用坐标地图和活动可视化来辅助决策。文献[30]基于信息理论、通信和信任理论,确定影响搜救行动中共享的态势感知形成的因素。文献[31]从微观和宏观两个层面对自然灾害方面的应急管理研究的成果进行评述,并对其未来研究重点作展望。文献[32]提出地理信息浏览器/应急管理服务云模式的应急预案建模,并建立了原型系统。文献[33]对交通应急管理系统的各个子系统与工作流程作了系统阐述,在总结应急管理现状的基础上,分析应用和研究中存在的问题。文献[34]对家庭应急防备作综述,强调防备的复杂性。文献[35]探讨了如何提高供应链应急管理能力的的问题。文献[36]论述了信息物理融合系统(Cyber-physical System)应用于化工工业的两个实例:安全和应急管理。文献[37]将人工社会、计算实验和平行执行相结合的社会计算方法引入应急管理研究中,并对该方法进行研究。文献[38]提出一个理论框架,

便于应急管理中的多机构协调,并认为该框架使联络员的工作更有效。文献[39]提出一种灾后用于辅助指挥官和救援队的负载均衡模式,通过智能技术实现有效资源的分配,并将把受伤人员分配到多家医院作为研究案例。

1.2.2 应急决策

科学技术的飞速发展,在推动经济繁荣和提高人类福利的同时,也给人们带来了突发性的危害。仅2014年发生的航班失联或坠毁事件就有5次:3月8日,马航MH370失联,失联客机至今尚未找到,给失联人员家属带来无尽的痛苦,10月,澳大利亚发布马航MH370中期报告,称其因燃油耗尽坠入印度洋;7月17日,马航MH17被击落;7月24日,阿尔及利亚AH5017航班坠毁;8月10日,伊朗安140客机坠毁;12月28日,亚航QZ8501航班失联后坠毁。国际和国内非常规突发事件频发,造成巨大的人员伤亡、经济损失和社会问题。

突发事件应急管理的每个阶段都有相应的应急决策,应急决策是一个涉及多个部门协调合作的多阶段、动态的决策过程。国内外有关应急决策的研究主要集中于应急预案制定和管理、应急资源分配和调度、应急响应决策支持和指挥调度系统等方面^[40]。文献[41]将案例推理和规则推理技术结合,引入应急决策中,使应急预案信息系统的建立、维护变得较为容易。文献[42]对应急预案制定中的若干问题进行了较为深入的研究。文献[43]针对直升机参与的救灾工作,研究其任务规划的数学模型,将整个问题分解成两个子问题,其中的战术决策在顶层进行,包括调度哪个基地的直升机来负责运输任务,将驾驶员分配给指定的直升机及决定每一架直升机的任务,模型目标是最小化运输时间,而直升机路由和负载决策则在底层进行。文献[44]对于应急物流供应点的选择问题,使用五阶段灾害管理过程作为研究框架,以帮助选择安全的站点位置。文献[45]将一个基于混合整数规划的应急救援物资运输模型集成到自然灾害物流决策支持系统中,该模型解决了动态时变运输问题。文献[46]报道了作为评估群决策支持系统应急响应手段的博弈仿真的设计和使用,对设计博弈仿真、确定实验方案和协调来自鹿特丹港口应急人员的博弈会话的过程进行说明,最后,总结了关于如何提高博弈仿真训练和操作收益的建议。危险品事故的不良后果可以通过专门的应对小组快速抵达事故现场而得到减轻,文献[47]提出一种新的方法来确定专业团队网络的优化设计,以最大限度地发挥其在区域应对此类事件的能力。该问题可以通过最大弧覆盖模型来表示,文献讨论了两种最大弧覆盖问题的表示,计算实验表明,新的模型可构成有效启发式的基础,而已有模型用于大规模问题时计算量大。新方法适用于评估在魁北克省和安大略省的运输事故。有效的应急物流配送对于自然灾害发生后的受灾区的紧急救援至关重要,文献[48]提出一种混合模糊聚类优化方法来处理救援期间的应急物流合作配送运作,该方法基于提出的三层应急物流合作配送框架,包含两个递归机制——受灾地区分组以及救灾合

作配送,对我国台湾地区发生的实际大规模地震灾难进行了数值研究。文献[49]提出了一种模型,以求解针对无预警灾害的实时应急响应,实现同时处理转移目标、交通分配及多优先级组的出发安排问题,所提出的方法解决了在同一个交通网络中具有多个应急响应、不同目的地和优先级的疏散流动群体的决策问题,采用基于元胞传输模型(Cell Transmission Model)的线性规划模型解决该问题。在紧急情况下,决策是一项富有挑战性的任务,需要决策者在不完整信息和错误信息压力下采取立即有效的行动。适当的资源和人员、合适的通信线路以及相关手续的及时获取可最小化后果。文献[50]开发了基于计算机的低成本的具有决策支持系统工具的训练原型,对应急响应者的能力、与其他机构的协作、资源和人员的配置、应急预案的实现以及指挥链的使用进行了评价。应急物资预置是自然灾害的有效防范机制之一,文献[51]开发了一个应急规划工具,用以计算不确定条件下自然灾害所需预置的各类应急物资的位置和数量,针对飓风或其他灾害,提出一种基于两阶段随机混合整数规划(SMIP)的应急预置策略,SMIP考虑了事后库存物资以及交通网络可用性的不确定性,鉴于该问题的计算复杂度,采用拉格朗日L形法(对数最小二乘法)作为启发式算法以求解大规模问题。灾难恢复管理的主要作用是使混乱状况迅速恢复至正常状态,包括缓解、准备、响应和恢复等阶段。为减少二次破坏和损失,恢复进程必须提供便利。信息技术(包括网络、计算机和相关软件工具)加快了将灾害信息传递给相关部门的流程。文献[52]分享了使用应急响应框架的经验,包括简单的预操作过程和基于网络的信息系统,以期有效地管理和控制火灾事故后在医院手术室中受损的医疗设备。针对城市交通网络中许多应急响应单位的最优部署,文献[53]提出一种模型和启发式解决方案,模型考虑了当意外发生时,应急单元可能已经被占用这类随机性,所提模型集成了排队模型、位置模型和遗传算法,通过两个步骤获得适当的单位位置。在第一步骤中,服务区域被划分成子区域,同时,确定每个子区域所需的必要的应急单元。第二步骤是在每个子区域中进行应急单元的最优部署。在紧急救援中,应急资源的优化配置是一个关键步骤。针对现有方法常忽视多种资源和潜在的次生灾难的问题,文献[54]对具有多种资源和可能的次生灾难约束的应急资源分配问题进行描述,通过整数规划对考虑多个次生灾难的多资源、多应急响应站点问题建模,鉴于复杂性,基于线性规划和网络优化,设计启发式算法解决该问题。在大规模伤亡事件的善后工作中,诸如救护车和手术室此类关键资源会因骤升的病人需求而不堪重负。为了配给这些资源,须指定患者的不同优先级,可通过分诊,基于病人的损伤来确定其优先级。然而,急诊医学文献的最近研究显示,在确定优先级时,为了做最大数目的善事,还须考虑资源限制和事件的规模。文献[55]探讨了如何使好事数量最多以及其潜在的好处,将该问题建模为优先级分配问题,工作基于病人的生命(即其容忍的等待)、服务时间和报酬分配进行分类,目标为最大化期望的总报酬,如最大化幸存者数量,采用样本一路径方法和随机动态规划解决该问题。文献[56]对

响应灾难的救援物资分发网络作了系统回顾：首先，对专注于物流环节问题的救灾分发网络进行综述；其次，强调了在建模和解决方法上的发展趋势和挑战；最后探讨了未来需要研究的问题。应急响应系统(Emergency Response System, ERS)可以协助政府或市民提高应对突发事件的能力。一个 ERS 的响应能力和有效性极大地依赖于它的数据采集和处理系统。随着传感器网络和云计算的快速发展，新兴的物联网在 ERS 中发挥越来越大的作用。基于实时数据，传感器网络、公共服务以及专家能够彼此交互，从而对突发事件进行科学决策。由于无组织数据的特性和系统复杂性，ERS 取决于来自不同领域的专家的认知和判断，文献[57]将突发事件状态下的群决策表述为多属性群决策问题，对专家意见的一致性进行建模，提出一种可以达到最大化一致性的应急预案的方法。在实现环节，将所提方法通过计算机程序封装为在服务器上的服务。由于决策数据的有限性和紧急情况下可能的演变，应急决策问题通常是有风险的和不确定的。文献[58]针对应急响应的风险决策问题进行研究，该问题具有几个方面：突发事件动态演化过程、多个场景、突发事件的响应行动影响，文献提出基于故障树分析(Fault Tree Analysis, FTA)的方法解决此问题。该文献通过分析突发事件的演变过程，构造故障树(FT)用于描述导致突发事件演变的条件和因素的逻辑关系，考虑到不同的可行的应对行为，通过 FTA 估计突发事件场景的概率，计算每个行动的总排名值，根据排名值来确定可行的响应行为。疏散规划是医院突发事件管理预案的重要组成部分，在疏散病人时，病人的安全与健康是疏散成功与否的根本参数。文献[59]引入疏散模型，以最小化预期风险为目标，研究按危急程度和护理需求分类的病人安置，考虑每家接收医院对于每类病人的当前可用的空间，通过有限的车辆将其运送到适当的接收医院，该模型通过整数规划求解，其中非线性预期风险事先计算得出。诸如地震、海啸和飓风等自然灾害每年都造成巨大危害，为在响应阶段减少人员伤亡和经济损失，必须指派及有效调度救援单位，文献[60]开发了相应的决策支持模型，最小化严重性加权事件的完成时间之和。参与机构之间有效的资源分配和协作是成功的应急响应的两个重要的先决条件。为了促进资源合理配置和有针对性的合作，文献[61]提出一种针对应急响应的任务网络生成方法及基于社会网络分析的任务网络分析方法。针对地铁列车上发生的恐怖袭击事件，许多措施如安检、乘客筛选等已启用，文献[62]针对这一问题，增加一个环节以减轻攻击对车辆的影响。基于伦敦爆炸案和其他紧急情况的经验，以及当前认可的行为模式，该文献提出通过改进地铁车厢的设计，加强紧急情况下的管理，辅助疏散和营救乘客。灾难应急响应通常是多种状态下的风险决策问题，文献[63]提出一种基于累积前景理论(Cumulative Prospect Theory, CPT)的风险决策分析方法来解决应急响应中的风险决策问题，给出了所研究的应急响应问题的描述和解决方案，根据 CPT，计算出关于每个标准的潜在的响应结果值，考虑标准之间的相互依存关系或冲突，采用 Choquet 积分确定每个潜在响应结果的值。文献[64]提出一个情景感知的多方协同

系统的总体框架,扩展了应对大规模复杂事件的动态决策的概念及动态决策支持系统的功能。事件响应者和决策者面临环境、组织和活动方面的动态的、复杂的问题,这些问题通过将上下文感知、多方关系管理和基于任务的协调组件集成到情景感知多方协同系统框架得以解决,利用灾害响应作为说明性例子。

1.2.3 多无人平台协同控制问题研究

在复杂环境下,单无人平台由于其视线遮挡或运动限制等因素,常常不能实现对目标进行连续作业,因此需要多无人平台协作以维持对目标的持续作业,从而获得更好的效果。多无人平台可应用于地面目标定位、目标跟踪、转移掩护、海上搜救等任务。总结现有文献,多无人平台协同问题研究主要涉及协同侦察、协同搜索、协同探测与感知、协同任务规划、协同跟踪、协同路径跟随与编队控制等问题。文献[65—67]研究了多无人机协同搜索问题,文献[68]研究了协同多无人机探测与感知问题,文献[69]研究了协同任务规划问题。将多无人平台应用于突发事件的应急管理,在事中阶段涉及多无人平台的协同跟踪、协同路径跟随与编队控制等问题,故下面仅对这两部分研究作重点综述。

对于协同跟踪问题,目前研究最多的一类协同跟踪为协同对峙跟踪^[70—73]。文献[70]基于李亚普诺夫指导矢量场,研究了一队无人机协同对峙跟踪移动目标时能够产生稳定的收敛极限环行为的控制结构。该项研究首先为静止目标设计指导矢量场,然后对其修改使之适用于移动目标及常速背景风的情况,通过增加附加相位实现多无人机协同跟踪。文献[71]使用微分几何法设计针对移动目标的无人机交汇和对峙跟踪的指导律。文献[72]采用修改的矢量场对峙跟踪目标,引入捕获和盘旋两种模式来跟踪一个目标。在捕获模式下,无人机能够在期望时间到达期望位置,以实现从各个方向捕获目标。一旦目标被捕获,捕获模式切换至盘旋模式,无人机之间的相对间距由对峙距离控制命令和速度命令控制,修改后的矢量场满足更多约束。对于由两架无人机协同对峙跟踪目标的问题,文献[73]提出了一种非线性模型预测控制框架,控制器的总体结构是完全分散的。文献[74]针对在城市地形下多无人机通过机载传感器在地形遮挡和空域限制条件下,跟踪一个地面移动目标的问题,假设有关遮挡的先验信息可从数据库得到或由操作员对环境的了解得到,将跟踪目标问题视为协同运动规划问题,将基于遗传算法的随机搜索方法用于实时寻找单调解。文献[75]考虑了单架无人机通过单个摄像机跟踪地面目标的运动估计和目标跟踪问题,通过基于逆运动学的控制器调节无人机与目标的距离。文献[76]研究了在博弈论框架下使用模糊逻辑控制器解决多智能体机器人系统中的无碰撞的目标跟踪问题,以使团队保持期望的队形跟踪目标。文献[77]设计了分散式控制器,该控制器用卡尔曼滤波器估计目标和机器人的相对位置、状态变量。文献[78]研究了在城市环境中动态确定一组自主无人机合适的飞行模式,以实现持久地和准确地跟踪地面移动目标,假设无人机之间的通信能力有限,而且无人机