

专论与综述

多无人机协作监测污染气团的研究现状

高同跃¹, 夏晓玲², 饶进军¹, 龚振邦¹, 罗均¹

(1 上海大学机电学院精密机械系, 上海 200072; 2 上海市环境监测中心, 上海 200030)

摘要: 分析了多无人机协作监测污染气团的研究意义, 以及涉及到的 4 个主要技术问题))) 未知环境的搜索方法、环境地图建模、任务分配和路径规划的研究现状, 指出多无人机协作监测研究的仿真平台、三维空间的监测技术及精确的模型是开展该项工作的重要研究方向。

关键词: 多无人机; 协作监测; 污染气团

中图分类号: TP202; X851 文献标识码: A 文章编号: 1006- 2009(2010)01- 0012- 04

Research Status of Multi-Umanned Aerial Vehicle Cooperation System for Monitoring Contaminant Clouds

GAO Tongyue¹, XIA Xiaoling², RAO Jinjun¹, GONG Zhenbang¹, LUO Jun¹

(1 School of Mechatronics and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China; 2 Shanghai Environmental Monitoring Center, Shanghai 200030, China)

Abstract The significance of research work was analyzed about multi-umanned aerial vehicle (MUAV) cooperation system for monitoring contaminant clouds. The work involved four technical matters such as search method in unknown environment, environment map making, task assignment and path planning. The important research direction of MUAV work was simulation platform, three-dimensional monitoring technology and accurate model.

Key words Multi-umanned aerial vehicle (MUAV); Cooperation monitoring; Contaminant clouds

无人机 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 最初作为一种 / 空中新兵 0 纳入军事装备, 发挥了越来越重要的作用, 其突出特点在于能够替代人类飞行员执行 / 枯燥、污染、危险 0 的任务, 而且多架无人机共同执行任务逐渐成为应用趋势。随着时代的发展, 无人机逐渐被应用到军事之外的其他领域, 如在安全保卫方面, 多无人机协作进行灾后人道主义搜救; 在森林防火方面, 多无人机协作进行森林灭火。此外, 多无人机协作系统还可应用于农业等多个领域。

多无人机协作系统监测污染气团是一个崭新的研究领域, 目前这方面的研究主要集中在国外几个研究单位, 国内未见相关报道。文章分析了多无人机协作监测污染气团的研究意义, 以及涉及的关键技术问题的研究现状。

1 研究意义

在当今社会, 战争中的生物武器或工业事故中的放射性物质产生的有毒污染气团对人类的威胁越来越大, 这类事故形式多样, 发生突然, 难以处置, 危害严重, 是社会不安定因素之一, 受到美国、欧洲和中国等国家的广泛关注^[1-3]。有效的环境监测对于防范上述突发性环境污染事故, 在事前预防、事中检测、事后恢复的各个过程中均起着重要的作用。只有通过有效的环境监测, 才能为事故处理决策部门快速、准确地提供引发事故的污染物质

收稿日期: 2009- 06- 03 修订日期: 2009- 12- 01

基金项目: 国家 / 八六三 0 计划基金资助项目 (2007AA041503- 3); 上海市优青基金资助项目 (BOFY0908038)

作者简介: 高同跃 (1978), 男, 山东平原人, 讲师, 博士, 主要从事面向无人机和机载云台的多传感器信息融合与控制方面的研究。

类别、浓度分布、影响范围及发展态势等现场动态资料信息,为事故处置快速、正确决策赢得宝贵的时间,以有效控制污染范围,缩短事故持续时间,将事故损失减至最小^[4-5]。

目前,我国处理上述突发事件的监测手段主要通过携带各种传感和分析仪器的应急机动车,而应急指挥车只能进行所在位置的数据采集和分析,即提供的信息具有较大的局限性。随着科学技术的发展,发达国家逐步采用一种更加理想的污染气团监测平台,即空中具有无人驾驶性能、携带传感器的智能设备))) 无人机,从而机动灵活地采集大范围的污染气团数据,并且能避免操纵人员接触有毒污染气体。从成本上考虑,性价比高的小型无人机完成该类任务更具有优势。

在利用无人机监测污染气团的过程中,研究单位发现,由于污染气团往往具有范围大、动态移动等特点,即使采用性能非常优良的单个无人机也很难实现实时、精确的检测和跟踪。为此,研究单位开始考虑采用多无人机协作系统,该系统通过智能协作算法,由个体无人机分别监测不同区域的污染气团,然后通过监测数据共享来实现对污染气团的监测。显然,相对于单无人机系统,多无人机协作系统在污染气团监测过程中具有效率高、适应环境能力强等特点。

2 国内外研究现状与分析

目前,诸多单位进行了小型无人机系统的研究,并取得了较好的研究成果^[6-9],如美国麻省理工的 Xcell-60 无人机、美国斯坦福大学的 HUM2 MINGBIRD 无人机、日本产业技术综合研究所基于 Yamaha-Max 的无人机等。国内的研究单位有北京航空航天大学、南京航空航天大学、西北工业大学、沈阳自动化研究所、中科院自动化研究所、清华大学、华南理工大学、浙江大学、上海交通大学、天津大学、山东大学、上海大学等。

鉴于多无人机协作系统的优点,研究单位正逐步开展该系统在不同应用领域的应用研究,其中多无人机协作监测污染气团是一个崭新的研究领域,处于刚刚起步阶段。污染气团监测是一个非常复杂的问题,原因是污染气团随时间的扩展由其组成成分及外部环境等许多因素决定,如风场的大小和方向、气体的紊乱程度、温度和湿度等。该问题的本质是在未知动态环境下多移动机器人协作追踪移

动性目标^[10-18],是当前机器人领域的一大研究热点和难点,涉及到的主要技术问题包括未知环境的搜索方法、环境地图建模、任务分配和路径规划等方面。

2.1 对环境的搜索方法

多无人机协作系统对环境搜索的目的在于获取搜索区域的信息,降低系统对环境的不确定度。

文献[19]提出了多机器人采用免疫机理方法对未知环境进行完全探测的方法。文献[20]提出了基于模型预测控制(MPC)理论和遗传算法(GA)的多无人机协同搜索算法。文献[21]对多无人机协作系统搜索污染气团问题进行了研究,指出无人机搜索受到飞行包络线、系统通信、机载计算能力、功耗等方面的限制,提出了多无人机对称子空间和非对称子空间的协作搜索污染气团方法。

问题分析:无人机对环境的搜索应分为两类,一类是未知环境下的搜索,侧重研究利用无人机的局部信息建立全局环境模型;另一类是已知环境的搜索方法,主要研究利用环境地图,设计更加高效的搜索算法。目前存在的算法只适合于后者,应用于未知环境搜索时,往往由于算法复杂而影响计算的实时性。

2.2 污染气团的环境地图建模

多无人机协作系统根据运动过程中获取的传感器数据,利用相关地图建模算法生成环境地图^[22-31],即建立污染气体的分布地图,从而获取系统监测污染气团的环境信息,为任务分配和路径规划提供基础。

早期针对污染气团的环境建模方法主要是概率统计法。如文献[29]采用贝叶斯估计方法预测化学污染物的分布;文献[30]利用高斯模型分析污染气团的运动趋势。显然,对于采用多无人机协作系统监测污染气团的问题,概率统计法具有很大的局限性,因为该方法是基于各种数值的分析算法,如高斯羽毛模型、Lagrangian 传输模型、Eulerian 传输模型或更加复杂的模型。

近期,文献[31]提出了一种新的拓扑地图法,应用于多无人机监测污染气团,利用多无人机检测到的污染气团边界点作为特征节点,由固定曲率的弧线连接这些特征节点,建立污染气团边界曲线,即二维的环境地图模型,然后由不同高度的二维模型叠加推导出三维环境模型。显然,这是一种更加直观、紧凑的形式,便于多无人机个体之间以最小

数据量交换污染气团的检测数据,同时使协作控制和导航算法更加有效。

问题分析:目前环境地图算法中没有涉及对多无人机观测数据关联问题的处理。污染气团随时间而变化,随着观测过程的推移,不同无人机会观测到相同污染气团区域在不同时刻的边界值,即多无人机的观测数据之间具有重复性,这将是污染气团的环境地图建模中一个非常值得研究的问题。

2.3 多无人机协作系统的任务分配

多无人机监测污染气团的任务就是对污染气团检测和跟踪,在整个过程中,多无人机需要组织自身以实现上述系统任务。因此,任务分配是多无人机协作系统的一个重要组成部分,需要给带有传感器的个体无人机动态地分配合适的位置和时间,用于检测污染气团^[32-44]。

文献[32]和[33]提出根据污染气团边界曲线的弧长和曲率,沿着曲线均匀地分布插值,并将插值点作为个体无人机的任务。文献[34]和[35]提出采用基于高斯概率的分布算法,对多机器人监测污染气团的任务进行分配。文献[40]提出基于任务执行时间、传感器与任务之间距离的贪婪算法,进行环境监测传感器的任务分配。

与上述方法不同,文献[44]提出一种基于行为的任务分配机制 AsyMTR_c 将环境和感知信息映射到行为模式所需的信息流中,自动地在机器人间重构各个模式间的连接,综合得到完成任务的行为。

问题分析:污染气团是一个易受风场等外部环境因素影响的跟踪目标,系统应该将外部环境因素映射到多无人机监测污染气团的任务分配过程中。因此,设计一个考虑外部环境对污染气团影响因素的任务分配机制,即动态的多无人机协作系统任务分配算法,是一个值得研究的问题。

2.4 多无人机协作系统的路径规划

通过动态的任务分配,个体无人机获得局部目标,在各种约束(如障碍物等)条件下,设计一条到达目标点的路径是多无人机协作监测污染气团研究的一个重要问题。

诸多学者提出了许多智能算法应用于机器人的路径规划。人工势场法结构简单,实时性好,安全性高,缺点是易陷入局部最优解,而且机器人在几个障碍物排斥场相交的区间内运动时,往往会产生抖动现象;遗传算法运算速度低,计算需占据较

大的存储空间和运算时间,无法满足路径规划实时性和可靠性的要求;模糊逻辑算法应用于复杂未知动态环境时,计算量较大,模糊规则较难提取;神经网络方法中样本的选择和设计是一大难题,求解结果局限于环境的建模和认知。

问题分析:现有的路径规划算法应用于多无人机协作监测污染气团问题时都存在一些缺点。在多无人机协作监测污染气团的过程中,污染气团会随着时间有所变化,即路径规划的目标是动态的。因此,设计针对动态气团目标的实时无人机路径规划算法是一项亟待研究的内容。

3 结语

总之,多无人机协作系统的研究工作刚刚起步,尤其是针对某些特定领域,例如监测污染气团,还存在不少学术问题亟待解决。一些具有重要意义的发展方向如下:

(1)多无人机协作监测研究的仿真平台。在现有技术离实际应用还有较大距离的时候,仿真平台是开展相关研究的重要工具。

(2)三维空间的监测技术。目前无人机监测多数假设环境为二维空间,即使是面向三维空间的监测,最终也简化为二维空间。研究针对实际环境,例如在具有起伏不定的地形、存在悬崖峭壁等危险障碍物的三维空间下进行多无人机协作监测污染气团,将具有重要的现实意义。

(3)精确的模型。在多无人机协作监测污染气团的研究过程中,建立多无人机和环境的精确模型是研究的基础问题,只有该问题得到合理解决,才能利用先进的技术手段开展实际研究。

随着研究工作的不断深入,多无人机协作监测污染气团的研究工作将会逐步成熟,最终由理论探索和仿真实验走向实际应用,并进一步促进其他类型多移动机器人协作系统在多个领域研究工作的

[参考文献]

- [1] Scuola Superiore Sant'Anna Networked and cooperating robots for urban hygiene[EB/OL]. <http://www.dustbot.org/>.
- [2] 夏命群. 本市将首用无人机观测大气污染[N/OL]. [2006-08-30]. <http://news.163.com/06/0830/02/2P088BS000011229.htm>
- [3] NASA Environmental research aircraft and sensor technology [DB/OL]. <http://www.nasa.gov/centers/dryden/history/>

- pastprojects/Erast/Erast.html
- [4] 赵起越, 白俊松. 国内外环境应急监测技术现状及发展 [J]. 安全与环境工程, 2006, 13(3): 13- 16
- [5] 王柏林, 胡玉峰. 移动式自动气象站设计及其在应急气象环境监测服务中的应用 [J]. 气象科技, 2006 34(5): 628- 632.
- [6] 邓寅喆, 刘亮, 龚振邦. 超小型无人驾驶直升机研究现状 [J]. 机电一体化, 2004 10(1): 18- 20.
- [7] 戎皓, 谈国军. 军用无人机的发展现状及趋势 [J]. 飞行力学, 2008, 23(1): 14- 18
- [8] 赵新刚, 韩建达. 模型直升机航向自适应保性能控制 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19(13): 3047- 3051.
- [9] 高同跃, 龚振邦, 罗均, 等. 滞空状态下超小型旋翼机系统的姿态模型辨识 [J]. 系统仿真学报, 2008 20(1): 7- 10, 32
- [10] 蔡自兴, 崔益安. 多机器人覆盖技术研究进展 [J]. 控制与决策, 2008, 23(5): 481- 491
- [11] 王梅, 吴铁军. 多机器人协作运动以及相关问题的研究 [J]. 制造业自动化, 2005, 27(5): 42- 47
- [12] 张俞, 刘淑华. 多机器人任务分配的研究与进展 [J]. 智能系统学报, 2008, 3(2): 115- 120
- [13] 姚军武, 黄丛生. 多机器人协调协作控制技术综述 [J]. 黄石理工学院学报, 2007, 23(6): 1- 6
- [14] 袁志强, 王彪. 移动机器人路径规划的现状和发展 [J]. 机械管理开发, 2008, 23(1): 35- 39
- [15] 张恒, 樊晓平. 移动机器人同步定位与地图构建过程中的轨迹规划研究 [J]. 机器人, 2006 28(5): 285- 290.
- [16] 田菁沈, 林成. 不确定环境中多无人机协同搜索算法 [J]. 电子与信息学报, 2007, 29(10): 2325- 2328.
- [17] 吴皓, 田国会. 未知环境下的多机器人协作策略研究 [J]. 山东大学学报, 2008, 38(4): 28- 36
- [18] 王耀南, 余洪山. 未知环境下移动机器人同步地图创建与定位研究进展 [J]. 控制理论与应用, 2008 25(2): 57- 65.
- [19] 高云园, 韦巍. 基于免疫机理的多机器人未知环境完全探测研究 [J]. 模式识别与人工智能, 2007 20(2): 191- 197
- [20] 高云团, 郭云飞. 协作多机器人用于未知环境完全探测和地图构建 [J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(7): 1259- 1264
- [21] 蔡晓慧, 李艳红. 基于 PSO 和滚动优化的不确定环境下移动机器人动态路径规划 [J]. 科技通报, 2008 24(2): 260- 265.
- [22] 孙斌, 韩大鹏. 基于滚动窗口算法的机器人路径规划应用研究 [J]. 计算机仿真, 2006 23(3): 159- 162.
- [23] 徐捷, 段玉森. 上海市环境空气质量监测体系规划设计 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(1): 5- 7, 35
- [24] 王向明, 伏晴艳. 环境监测实验室信息管理系统建设))) 以上海市环境监测中心为例 [J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(4): 4- 8
- [25] SUSCA S, MARTNEZ S. Monitoring environmental boundaries with a robotic sensor network [C]. USA Minnesota Proceedings of the 2006 American Control Conference Minneapolis 2006: 2072- 2077
- [26] WHIFE B A, TSOURDOS A. Contaminant cloud boundary monitoring using network of UAV sensors [J]. IEEE Sensors Journal 2008 8(10): 1681- 1692.
- [27] KOVACNA M A, VAIDYANATHAN R. Multiagent control algorithms for chemical cloud detection and mapping using unmanned air vehicles [C]. 2002 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2002 2782- 2788
- [28] DAIDA J M, RUSSELL P B. An unmanned aircraft vehicle system for boundary layer flux measurements over forest canopies [C]. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1994. IGARSS 94. Surface and Atmospheric Remote Sensing Technologies Data Analysis and Interpretation International 1994: 1248- 1250.
- [29] LAZARUS S B, SHANMUGAVEL M. Airborne mapping of complex obstacles using 2D splinegon [C]. American Control Conference 2008 1238- 1243
- [30] GUO Z, ZHOU M C. Adaptive sensor placement and boundary estimation for monitoring mass objects [J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics 2008 222- 232.
- [31] TRINCAVELLIM, REGGENTE M. Towards environmental monitoring with mobile robots [C]. France 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Acropolis Convention Center Nice, 2008 2210- 2215
- [32] AMIGONI F, BRANDOLINA. Agencies for perception in environmental monitoring [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 2006, 55(4): 1038- 1050
- [33] BABUL S U, KUMAR R V R. Sensor networks for tracking a moving object using kalman filtering [C]. ICIE IEEE International Conference on Industrial Technology 2006 1077- 1082.
- [34] POPA D O, SREENATH K. Robotic deployment for environmental sampling applications [J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics 2008 222- 232
- [35] JAWARD M H, CANAGARAJAH N. Contour tracking of contaminant clouds with sequential monte carlo methods [C]. IC2 ASSP. IEEE International Conference 2008 1469- 1472
- [36] MARQUES L, ALMEIDA A T D. Environmental monitoring with mobile robots [C]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2005 3624- 3629
- [37] ZHANG C, ZHANG Y C. Detecting coverage boundary nodes in wireless sensor networks [C]. Beijing ICNSC06 Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Networking Sensing and Control 2006: 868- 873.
- [38] POPA D O, MYSOREWALA M F. EKF2based adaptive sampling with mobile robotic sensor nodes [C]. 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2006: 2451- 2456.
- [39] PANG S, FARRELL J A. Chemical plume source localization [J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics(Part Cybernetics), 2006 1068- 1080.
- [40] BATALINA M A, SUKHATME G S. Task allocation for event aware spatiotemporal sampling of environmental variables [C]. 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2005: 721- 728.

200 mg/L 的氨标准气进行稀释, 分别稀释 2 000 倍到 40 倍, 对稀释后的气体进行采样, 得到不同氨气体积比下采样样品浓度标准曲线, 线性关系良好, 见如图 4。

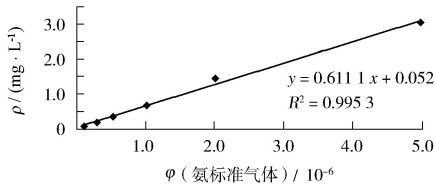


图 4 氨标准气体浓度 - 吸收浓度关系
Fig 4 Relation of ammonia gas standard concentration to absorptive concentration

2.7 采样重复性

选择采样瓶 c 以 20 mmol/L 甲基磺酸溶液 20 mL 为吸收液, 以同一稀释的标准气源, 1 L / m in 流量采样 180 m in 采样器前加 0.45 Lm 过滤头, 滤去气体中的固体颗粒物。重复采样 5 次, RSD 为 6.8%, 表明该方法采样重复性良好。结果见表 4。

表 4 氨气采样重复性 mg/L

Table 4 Repeatability of ammonia sampling mg/L

测定序号	1	2	3	4	5	平均值
质量浓度	0.276	0.306	0.291	0.257	0.297	0.285

3 结论

根据博物馆污染气体的种类, 对气体主动采样法进行了不同采样瓶、吸收液种类和浓度、吸收液体积的选择。验证了气体采样流量、采样时间及污染气体浓度与采样样品溶液的线性关系。最终确定主动采样法采样条件为, 以标准口多孔玻板吸收管为采样瓶, 对碱性污染气体以 20 mmol/L 甲基磺

酸溶液 20 mL 为吸收液, 对酸性污染气体以 20 mmol/L 的 NaOH 溶液 20 mL 为吸收液, 以 1 L / m in 采样 30 m in ~ 180 m in 采样器前加 0.45 Lm 过滤头, 滤去空气中的固体颗粒。该采样方法监测文物保存环境酸性和碱性污染气体可行。

[参考文献]

[1] 国家环境保护总局. H J/T 167- 2004 室内环境空气监测技术规范 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004

[2] 李静, 左莹, 施超欧, 等. 离子色谱法同时检测微环境中的酸性气体 [J]. 环境化学, 2008, 27(5): 658- 661

[3] 施超欧, 刘霞, 左莹, 等. 博物馆微环境中酸性气体被动采样方法的改进 [J]. 环境化学, 2009, 28(3): 455- 456

[4] 施超欧, 李静, 刘霞, 等. 博物馆微环境中多种酸性气体采样和检测方法研究, 发展中的上海环境科学)) 上海市环境科学学会 2008 年学术年会论文集 [C]. 上海: 上海科学技术出版社, 2008 429- 435

[5] 刘霞, 李静, 徐方圆, 等. 博物馆室内微环境中碱性气体的被动采样方法研究 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(1): 13- 17

[6] 陈元生, 解玉林. 博物馆文物保存环境质量标准研究 [J]. 文物保护与考古科学, 2002, 14(增刊): 152- 192

[7] 刘舜强. 关于博物馆环境的讨论 [J]. 文物保护与考古科学, 2006, 18(1): 60- 63

[8] 解玉林, 顾旭. 博物馆, 档案馆, 图书馆被保护环境中气态污染物的监测和分级 [J]. 文物保护与考古科学, 2002, 14(增刊): 218- 227

[9] 王希琴, 蔡继宝, 杨艳, 等. 卷烟主流烟气中氨的捕集及其离子色谱法测定 [J]. 分析测试学报, 2005, 24(6): 81- 84

[10] 朱亚民, 姚卫华, 杨玲洁. 离子色谱法测定乙烯中微量氨 [J]. 化学分析计量, 2005, 14(6): 12- 14

[11] 崔九思. 室内空气污染监测方法 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002

[12] 刘霞, 李静, 徐方圆, 等. 博物馆室内微环境中碱性气体的被动采样方法研究 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(1): 13- 17

本栏目责任编辑 薛光璞

(上接第 15 页)

[41] WASF N, TAO X. Design of an unmanned catamaran with pollutant tracking and surveying capabilities [C]. UKACC Control 2006 Mini Symposium 2006: 99- 113

[42] SUSCA S, BULLO F. Monitoring environmental boundaries with a robotic sensor network [C]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2008 1038- 1050

[43] TRINCAVELLIM, CORADESCHIS. Classification of odours

with mobile robots based on transient response [C]. France 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Acrepolis Convention Center Nice 2008 4110 - 4115

[44] TANG F, PARKER L E. ASyMTRe: automated synthesis of multi-robot task solution through software reconfiguration [C]. Proc of IEEE International Conference on Robotics and Automation 2005 1501- 1508