

复杂动态环境中多无人机协同低空突防航迹规划关键技术

李波 屈原*

(鄂尔多斯职业学院 内蒙古自治区鄂尔多斯市 017000)

摘要: 本文首先介绍了复杂动态环境中多无人机协同低空突防航迹规划研究背景和研究意义,总结了多无人机协同低空突防航迹规划的研究现状,然后对多无人机系统面临的战场环境复杂性及多无人机低空突防协同航迹规划的优势进行了阐述,最后对多无人机协同低空突防航迹规划的发展前景提出了一些观点。

关键词: 多无人机; 航迹规划; 关键技术

当前,无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)在军事和民用领域得到广泛应用,世界上的战争从机械化走向“隐性化”,在民用领域无人机主要应用到:国土资源监测、灾情监测、交通巡逻、矿产探测等。军用领域主要是执行军事任务,如实时监控、电子侦察、空中格斗和电子对抗等^[1]。

在信息化、网络化的战场条件下,由多无人机构成的空中集群具备能够持续发动所需打击的空中力量,迫使敌方耗费更多的资源和战机来应对,各个无人平台通过共享情报信息,随时保持对集群中其他平台位置、状态的共享,可以更为全面地获得敌方的威胁信息和战场的态势。无人机空中集群在战区空域长时间的滞空,可以为打击敌方目标提供准确、及时的情报支援和实时的打击力量,从而缩短任务窗口时间、提高作战效率^[2]。面对未来复杂多变的信息化战场环境,要求各无人机在统一的协调指挥下,形成一个结构合

理、稳定性好、实时性强的多无人机系统,从而增强军事作战对抗的综合能力与整体性能。文献^[3]指出:“现代战争越来越趋向于立体化、大纵深、全方位、多层次的诸兵种合成作战,现代防空技术的迅猛发展对空中进攻战役的要求越来越高”。由此,针对无人机低空突防任务特点,规划处具有“地形跟随、地形回避、威胁回避”的航迹是非常重要的,可见航迹规划无人机参与作战的基础。

多无人机协同航迹规划是指在特定的约束条件下,寻找起始点到目标点之间满足某种性能指标的最优航迹^[4]。在未来复杂动态环境中,多无人机协同作战模式的应用会越来越多,面向给定的作战任务,多无人机系统如何快速而有效地处理各种信息,协调与融合各无人机的作战力量,完成任务分配,规划最优飞行航迹,最大限度地发挥系统的整体作战效能,成为其取得战场制胜权的关键所在,也是当前多无人机协同控制领域急需解决的关键问题。本文正是以

MODBUS 保持寄存器 40025 中 0 位中存储了 DCS 给出的膜制氮手自动切换控制命令,当此位为 1 时,对应的数据块 DB10.DBX51.0 为 1,此时 M301.0 中间继电器辅助点接通,PLC 输出模块 Q28.0 端口输出,中间继电器 Y-KA11 接通,其辅助开点串入膜制氮设备控制回路,接通膜制氮设备的远程控制功能。其它设备的启停、复位回路功能类似。运行状态上传,就是将 PLC 输入模块采集到的现场信号所对应的 DB10 数据位置 1。

2.5.4 通讯调试

将 485 调试电缆连接到电脑。进入 MODBUS POLL 调试软件。菜单选择 CONNECTION=》connect,设置串口通讯,端口号为调试电缆接入端口(可在电脑右键=>属性=>设备管理器中查看设备端口分配),此处选择 PORT 6。波特率设置为 9600,数据位 8 位,无校验,1 个停止位,模式选择 RTU。在菜单 SETUP=》Read/Write definition,将从站地址设置为与 CP 参数设置相同的地址 2;功能设置为读保持寄存器;地址设置为 0,从 40000 开始读取。如果通讯成功,将读到如下数据,这些数据是 PLC 9 槽 CP341 RS485 通讯模块作为主站通讯从空压机 A/B 上传到联控盘的数据,如点表所示:40001 至 40019 采集了两台设备的排气温度及排气压力等信号,设置菜单 Display=>float 显示浮点型数据。这些数据放在了 DB10 数据块,每个数据与一个双字(32 位数据)对应。

2.6 点表的建立

通讯的本质是建立现场信号与远程信号的一一对应关系。通讯点表的建立可以确定数据间的对应关系。

西门子 S7-300 PLC 使用 DB 数据块存储数据,我们对 DB10

定义了 50 个双字的数据长度(见 2.5.2)。一个双字区域可存储一个 32 位浮点(float)数据,2 个 16 位字的整型(int)数据,32 个开关量布尔(bool)数据。而 MODBUS 一个地址占 16 位,因此只能存储一个字,因此 40001 和 40002 合并后存储一个浮点数据。单个 40001 存储一个整型数据,16 个开关量数据。如下表,每一类数据规定了不同的存储区域,区域内的数据以字,双字,位的形式对应。

3 总述

海上钻采平台设备无人化设计综合了电气控制、仪表控制、PLC 控制、DCS 控制及现代通信网络技术,需要多学科知识融会贯通。数据链路建设完成后,需要考虑数据传输类型、长度、地址、冲突等多个因素。在设计过程中,需要了解设备的改造需求,熟悉设备控制原理,通过何种方式将远程信号嵌入现有控制。

随着工业自动化控制技术的普及与网络通信技术的推广,远程无人化控制技术必将推动海上石油设施建设实现跨越式发展。

参考文献

- [1] 苏瑞华. 浅谈海上石油平台无人化电气改造的设计与应用[J]. 中国化工贸易, 2020, 12(4): 91-92, 94.
- [2] 胡东东, 李石岩. Modbus RTU 通信在 CP340 系统上的实现[J]. 通信技术, 2010, 43(8): 253-254, 257.

作者简介

张重德(1973-),男,山西省太原市人。硕士研究生学历,高级工程师。研究方向为生产过程自动化。

此问题为背景,研究复杂动态环境中多无人机(Unmanned Aerial Vehicles, UAVs)协同低空突防航迹规划关键技术,使得多无人机规划出的航迹具有良好的地形跟随、地形回避、实时性、满足低空突防的要求的同时可以很好的回避威胁,能在复杂战场环境发生变化(如突发威胁)时,及时在线调整以满足无人机安全、航迹最优等性能的要求。

1 多无人机协同低空突防航迹规划的研究现状

多 UAV 协同航迹规划是在对资源进行合理配置的前提下,根据战场环境信息,规划和协调系统中各个 UAV 的航迹,在满足不同 UAV 的任务要求的情况下,计算出各 UAV 的最佳飞行航迹。多 UAV 协同航迹规划的研究重点在于处理各 UAV 航迹在时间上的协调关系,避免 UAV 之间空间上的冲突,规划出满足约束条件的可行飞行航迹,使执行相关任务的 UAV 同时或依次到达各自任务区域执行任务。多 UAV 的航迹规划是一个复杂的多目标优化过程。代表性的算法主要有:数学规划算法,如非线性规划模型^[5]、混合整数规划模型^[6]等;离散搜索算法,如 Voronoi 算法^[7]、A* 算法^[8];智能优化算法,如遗传算法^[9]。在航迹规划所关注的航迹最优性、完备性和计算复杂度三个主要要素中,计算复杂度这一要素对于动态环境而言是最主要的。

当任务环境变化较复杂的情况下,会突发未知的静态威胁或者移动威胁时,就要求每个 UAV 都可以快速的规划出航迹。在这方面的处理上,大部分学者的研究方法是:当无人机检测到威胁时,从探测点开始重新规划航迹,以郑昌文等的方法来说明,他们是在 UAV 起飞之前根据已知的信息离线规划出参考航迹, UAV 起飞后没检测到突发的威胁时尽可能的跟踪参考航迹飞行,当检测到突发静态威胁时就重新规划航迹(如图 1 所示)。

该方法的缺点是:若突发静态威胁出现在刚起飞阶段,重新规划航迹计算量比较大,耗费时间比较长;若突发静态威胁出现在快到达目的点时,可能相对的计算量会小一些。若出现的是突发移动威胁,计算量会倍增,航迹规划的实时性可想而知。但该方法的优点是:所得航迹的全局性好,航迹性能指标比较高。总结之前学者们处理突发威胁的方法,将这些方法建成比较完备的知识库,知识库为开放式结构,可以进行补充完善,即对这些方法进行知识集成,从而提高航迹规划决策系统的实时性和准确性。知识集成最早是 Demsetz 于 1991 年提出的,多 UAV 可以看作一个组织,故可以将知识集成运用到解决多 UAV 航迹规划问题上。

多 UAV 协同航迹规划的基本原理和单 UAV 类似,只是需要考虑每个 UAV 之间的避碰问题和时间协同问题。针对 UAV 的避碰问题,目前有很多学者采用不同的方法来处理,主要有:直接的避碰方法和协调的避碰方法。直接的避碰方法就是给每架 UAV 设定不同的飞行高度,这样如果 UAV 数量比较多时无法满足低空突防的要求,因此在多 UAV 的航迹规划时采用协调的航迹避碰方法。协

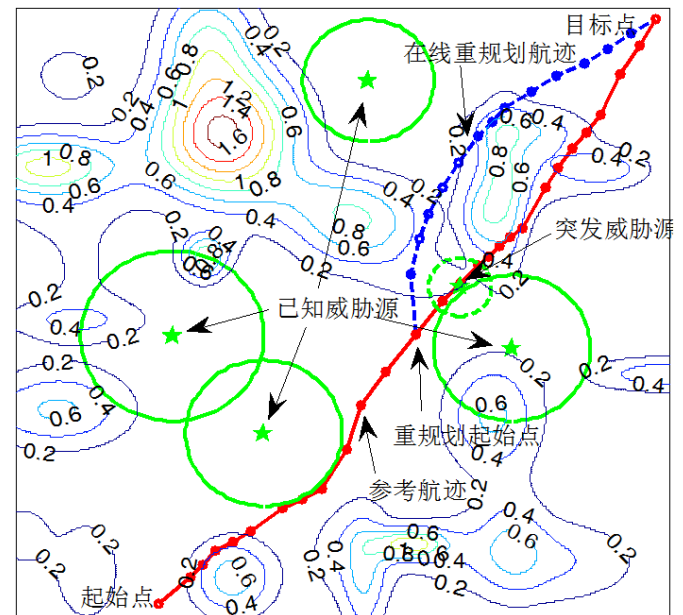


图 1: 无人机在线航迹重规划示意图

调的航迹避碰方法分为协作式和非协作式避碰方法,前者无人机具有网络内避碰的能力,后者每个无人机具有发现和规避的能力。协作式避碰方法靠的是多 UAV 之间的通信,来实现避碰。非协作式避碰方法靠的是无人机自身传感器,如 EO 传感器,实时探测可能的碰撞,并快速规划出避碰航迹。文献[10]提出了基于滚动时域的多 UAV 避碰航迹规划方法,多 UAV 可以相互通信,出现碰撞的可能性时, UAV 通过在线航迹规划来避碰。彭辉也是利用该方法来实现多无人机协同区域搜索中的避碰问题的。文献[11]是通过引入预计到达时间(ETA)作为协同变量来实现多 UAV 的协同飞行,多 UAV 的航迹规划是利用 Voronoi 图和 Dijkstra 算法生成最优航迹,但所得最优航迹并不平滑,又利用动态平滑方法对航迹进行了平滑处理。

多 UAV 系统协同中的三维航迹规划是一个复杂的多目标优化问题,处理该优化问题有两种思路:集中式和分布式的方法。集中式是由一个中央控制系统来指挥和控制各个 UAV,中央控制系统需要获取各个 UAV 与航迹规划相关的信息,然后经过对优化问题的求解,将相关信息传递给各个 UAV,该方法存在的缺点是:中央控制系统需要获取所有 UAV 的状态信息,并进行整体分析和全局优化求解,当 UAV 的数量较大时,中央控制系统的计算量巨大,求解时间较长,难以满足实时控制与决策的要求;优点是:只有中央控制系统进行决策,具有良好的全局控制和决策能力。分布式是将一个复杂的优化问题分解为多个小的优化问题,对多 UAV 的航迹规划问题可以分解为单 UAV 的航迹规划问题,要解决这一复杂的优化问题只需先考虑单 UAV 的三维航迹规划问题。这样不仅可操作性增强,而且 UAV 之间只需要很少的通信就可以知道其

●基金项目:内蒙古自治区高等学校科学研究项目“复杂动态环境中的多无人机低空突防航迹规划关键技术研究”,课题批准号: NZZY20217。

他 UAV 和环境的信息。

2 多无人机系统面临的战场环境复杂性及多无人机低空突防协同航迹规划的优势

多无人机系统面临的战场环境复杂性主要体现在两个方面:

(1) 系统外部环境复杂多变,如地形、天气的变化,各种静态或者动态的敌方威胁(雷达探测、防空导弹和空空战机等)不断出现;

(2) 系统在执行任务过程中,其内部会受到多种约束的限制,如飞行器的物理约束(飞行高度、速度、最大航程、最大拐弯半径、最大爬升/俯冲角、最小路径长度、最远打击范围和最远视距等),任务约束(任务时间窗、任务优先级和任务数量等),机载设备性能约束(传感器的探测范围及概率)以及多机协同约束(航迹协同、任务协同和通信连通等)。因此多无人机航迹规划不仅要求多无人机可以进行很好的在线航迹规划,还要求无人机进行协同的航迹规划,为了提高无人机航迹规划的实时性,分布式的多无人机航迹规划得到了发展。因此多无人机的航迹规划问题是一个复杂的优化问题。

多无人机协同系统是在对资源进行合理配置的前提下,根据任务区域的环境信息、威胁信息和所执行的任务要求,规划和协同系统中各无人机的航迹,以实现任务完成的最大化。多无人机低空突防协同航迹规划不仅要满足多机的航迹协同,还要满足低空突防的要求,这就要求无人机航迹规划具有高质性、快速性、协同性。高质性要求无人机航迹规划的质量比较高,快速性就需要无人机航迹规划的实时性较强,协同性需要保证无人机的避碰,飞行时间的协同等。航迹的高质性、快速性、协同性等是相互耦合的,因此在航迹规划过程中需要协调多种因素之间的关系,折中选择。

3 多无人机协同低空突防航迹规划的发展趋势

在未来复杂多变的动态战场环境中,单架 UAV 执行情报侦察和战场监视任务将远不能满足新军事需求,随着 UAV 协同技术的不断增强,组织多架 UAV 共同执行侦察或打击等任务已逐渐成为一种重要的军事行动方式。UAV 的航迹规划是任务规划系统的关键技术,也是 UAV 顺利完成基本任务的基本保证。多 UAV 航迹规划是一个范围很广的课题,我国学者在多 UAV 航迹规划取得了一定的成绩,但是还有大量的工作亟待进一步研究:

(1) 航迹规划算法:航迹规划算法是航迹规划的灵魂,随着战场环境的复杂,对航迹规划算法的实时性要求会越高,本课题只考虑了战场中威胁的变化对航迹规划的影响,而没考虑其它因素的改变对航迹规划的影响,比如 UAV 作战任务的改变,多 UAV 中其中一个 UAV 受损时如何进行任务重新分配下的航迹规划问题,因此研究具有全局性能好、实时性高的航迹规划算法是未来 UAV 航迹规划的发展方向。

(2) 工程实用性:现在国内外学者在同时考虑无人机运动学约束和动力学约束方面的研究成果并不多见,为了便于计算,各种约束条件通常以简化的数学模型表示,导致规划结果的工程实用性降低。

(3) 多无人机之间的协调:多无人机共同执行军事任务或者

民用任务已成为当下无人机应用的趋势,多无人机之间的协调是多无人机顺利完成任务的基础工作。目前国内外学者大部分是通过调整协调变量来实现无人机之间的协同,也有部分学者用了集中式和分布式相结合的方法进行多无人机之间的协同。

参考文献

- [1] 诺曼·弗里德曼著,毛翔,杨晓波译.无人空中作战系统[M].北京:中国市场出版社,2011.
- [2] 郭峰.“天空新宠”——浅析无人机未来作战运用趋势[J].国防科技,2005(7):61-64.
- [3] 阎昌万.飞行器航迹规划与轨迹控制研究[D].西安:西北工业大学,1999.
- [4] Chandler P R, Rasmussen S, Pachter M. UAV cooperative path planning[C]. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Denver, CO, 2000:14-17.
- [5] BorreUi F, Subramanian D, Raghunathan. MILP and NLP Techniques for centralized trajectory planning for multiple unmanned air vehicles[C]. Proceedings of 2006 American Control Conference, USA, 2006:5763-5768.
- [6] Schouwenaars T, Moor B D, Feron E. Mixed integer programming for multi-vehicle path planning [J]. Proceedings of the European Control Conference, Bonn, Germany, 2001:2603-2608.
- [7] 叶媛媛, 闵春平, 沈林成等. 基于 Voronoi 图的无人机空域任务规划方法 [J]. 系统仿真学报, 2005, 17(6):1353-1359.
- [8] Sathyan B M, Jain L C, Finn A. Multiple UAVs path planning algorithms: a comparative study[J]. Fuzzy Optimal Decision Making, 2008, 7(3):257-267.
- [9] 符小卫, 高晓光, 旷艾喜. 基于小生境遗传算法的飞行航迹规划 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(21):5940-5943.
- [10] Fasano G, Accardo D, Moccia A. Multisensor based fully autonomous non-cooperative collision avoidance system for UAVs[C]. Proceedings of the AIAA Infotech@ Aerospace Conference and Exhibit, Rohnert Park, California, 2007:2007-2847.
- [11] 安柏义. 多无人机系统协同航迹规划研究 [D]. 南京:南京航空航天大学, 2008.

作者简介

李波(1986-),女,内蒙古自治区包头市人。硕士学位,鄂尔多斯职业学院讲师、高级工程师,主要从事自动化、智能控制和机电一体化研究。

屈原(1987-)(通讯作者),男,内蒙古自治区鄂尔多斯市人。工程硕士,鄂尔多斯职业学院讲师、工程师。研究方向为电气自动化、智能控制和矿山机电。