

# 无人机任务规划系统体系设计<sup>①</sup>

## Mission Planning System Architecture Design for UAV

高晓静 智勇 陈晓峰 (第二炮兵装备研究院 四所 北京 100085)

**摘要:** 无人机任务规划系统(MPS)是一项复杂的系统工程,一个综合高效的任務规划系统对于具有超视距侦查和监视能力的无人机完成作战任务是相当重要的。系统地构建一个可行的任务规划系统需要考虑的因素很多,首先要进行任务信息需求分析,其次是对各种资源的合理配置,另外还要满足飞机飞行特性、航空控制规则以及作战法则等标准。从无人机任务规划概念出发,分析无人机任务规划系统的信息需求环境和构建要求,归纳了无人机任务规划的基本体系结构和模块化设计,最后给出了无人机任务规划系统基本的评价指标。

**关键词:** 任务规划系统 MPS 资源分配 ISR 作战环境 CSP 算法

随着远程、长航时无人机(UAV)和无人作战飞行器(UCAV)的不断发展,它们都具有自主执行各种军事行动的能力,不久的将来,在军事作战中,指挥官可调遣的部队将包括各类无人驾驶飞机。这些无人机将协同工作,遍布在战场上,长时间地提供情报,监视和侦察(ISR-Intelligence, Surveillance and Reconnaissance),打击和战损评估(BDA-Battle Damage Assessment)。要妥善管理,并充分认识到无人机部队的这些能力,必须存在指挥和控制系统以指导无人机目标分配和任务协同,提供资源的有效分配。

任务规划系统(Mission Planning System)就是统筹评估目标和威胁、性能和约束以及政策/战略问题,进行资源的合理分配的综合系统。例如,规划必须考虑约束因素,分离的进入点和出口点,最大限度的隐蔽(尽量飞机减少穿行期间的雷达散射截面 RCS),以及避免长时间连续同高层的(straight-and-level)路径段飞行。任务规划系统的有效与否关系到无人机执行任务的有效性、成功率和生存概率等关键要素。一个好的规划系统必须制定计划,以提供资源的有效分配,发挥系统实际的潜力,同时还保证系统的“鲁棒性”,使制定的计划在很长的时期都更具可执行性。目前国内的任务规划系统研制处于较为初级的阶段,

多为无人机制造厂商和机构开发,学者的研究往往都侧重于航迹规划算法的研究和讨论<sup>[1,2]</sup>,而针对任务规划系统的实际使用过程的研究几乎处于空白。本文从实际任务信息需求出发,提出了构建一种可行性任务规划系统架构的方法,并对任务规划中的资源配置模型进行了讨论,分析了任务规划系统功能模块和关键技术点,以实现一套可行的无人机任务规划系统。

### 1 MPS概念

无人机任务规划的目的是在对资源进行合理配置的前提下,计算找出一条最佳飞行路径,使之在确保飞机安全飞行的前提下,最大限度地发挥有效载荷的作用,完成规划任务。任务规划系统环境中的信息流表示如图1所示,图中主要描述了规划系统中各种信息的具体走向,其中还有更为复杂的交叉信息,为了图示简洁进行了省略。

图1表示了任务规划系统、导航、载荷信息分析和数据库之间共享的信息流。在指挥控制系统的结构中,任务规划往往表示为一个节点,图1其实就是将一个节点进行了扩展,描述了各个模块间信息的活动,说明了任务规划中所需的各类数据和它们之间的关系。

① 基金项目:十一五装备预先研究项目(513150801)

收稿时间:2009-02-10

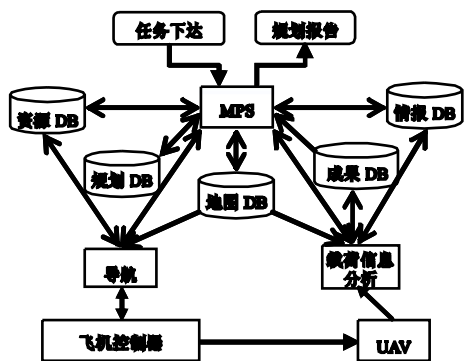


图1 MPS环境中的信息流

### 1.1 任务规划系统过程

无人机的任务规划本质上是一个基于地图规划的过程，开始于任务下达，终止于规划出一条(或多条)满足任务需求和其他标准的路径。任务需求通常指无人机通过机载传感器和载荷观察某个地点或区域，并在指定的时间期限内解释传回相关数据。其他标准包括：避免撞地、避开威胁、油耗控制、遵守航空管制规则等等。一般地，需要在这些标准之间进行权衡。例如，任务可能需要太多的燃油而无法完成所有的目标，则可以将不太重要的目标点从规划中删除。

在任务执行期间，导航单元接收无人机的状态数据，如位置、航向、油量和地面速度等。这些相关数据也存储在资源数据库中，在任务执行过程中由MPS监控。

出于某种原因可能需要增加任务目标，而该目标未列在原始的规划中。此时，地面控制人员可以向导航单元提出申请，暂时接管无人机的控制，远程操控它。任务规划系统需要分析提交的策略，并提出相应的约束，即关于导航单元能够让无人机飞到哪，经过多长的时间，油量航程、生存概率是否满足等，以促成任务成功的完成。然后地面远程控制放弃对无人机的控制，无人机则恢复原始的路径计划。

规划系统所得到的具体规划结果包括作战飞机资源分配、敌方目标分配和飞行路径。任务在执行过程中，作战网络中各单元和指挥总部都可以远程访问信息数据库或者直接接收无人机传回的遥测信息，获得及时、有效的参考信息。

### 1.2 任务规划数据

资源、规划、地图、成果和情报数据库都是用来存储辅助无人机规划和管理任务来满足行动所需的信

息。每个数据库的具体内容为：

**资源数据库(基础数据库):**存储战场操作参数和每个设备单元的状态，包括无人机、目标、载荷、发射机、天线等。战场参数定义了装备性能的边界。无人机状态数据包括飞行参数和油量等，任务期间直接从无人机接收这些状态数据。有效载荷包括不同传感器配件、发射器和天线等。资源DB可提供雷达建模数据和各个角度的无人机特征模型，帮助无人机以某种姿态飞行以减少被敌传感器探测到的风险。

**规划数据库:**存储过去、现在(正在执行的)和新的(即将部署的)任务计划。

**地图数据库:**存储各个尺寸的电子地图。包含数字地形高程数据、地物、植被、水系及人造地物的地形图。地图数据来源不同，需要处理各种不同的格式。地图数据的更新周期较长，因此需要结合卫星获取更新的、更详细的地形数据。

**成果(载荷获取信息)数据库:**存储以前和当前无人机任务获取的信息，主要是图像。来自不同来源和机构的图像可能具有不同的格式，故而从其他无人机和卫星得到的图像需要经过处理后存储在此数据库中。

**情报数据库:**存储情报评估、SAM地点报告、阻碍无人机通信的电磁干扰区、不利飞行及降低传感器图像质量的天气区域、用频通道、作战区域边界以及交战法则，交叉点位置，安全航路以及每天不同时间的空域控制规则等。

存储在不同数据库中的对象都需要交叉引用。例如，存储在情报数据库中的一幅图像评估可能涉及图像数据库中的多幅图像，而其相关的地理参考的地图数据则位于地图数据库中。这种交叉引用关系在图1的信息流中简化了。

### 1.3 任务规划功能划分

简单说，当任务规划系统(MPS)接受了一项任务后，使用资源、规划、图像、地图和情报数据库中的信息来规划任务，新的计划完成后则在验证后装订到无人机。而任务规划实际上包含着多项工作，从层次功能上看，一般来说，任务规划系统要包含任务资源配置、目标分配、航路规划、数据链路规划和系统保障与应急预案规划等，本文基于此提出一个任务规划系统的功能划分，具体的MPS结构如图2。

无人机任务规划在接收任务后，首先要根据任务进行资源配置。配置任务资源，如我方机场、无人机、

载荷信息等,结合任务时间的要求,加载气象、电磁环境、敌方防空威胁等情报信息以约束参数形式加入到任务规划系统环境中。

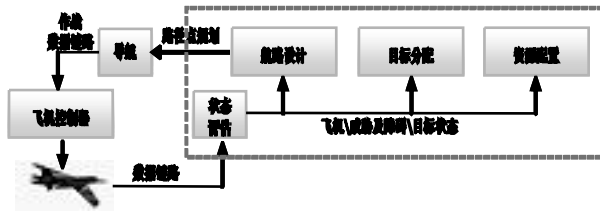


图2 任务规划功能划分

目标分配是将指定任务分配给无人机以完成任务,包括目标划分,即建立无人机和目标之间的对应关系,以及任务区域划分的问题,即目标分区的问题。目标的划分要考虑的因素包括任务要求、无人机载荷和燃料,分配的代价为飞机的生存概率以及目标价值。目标分区是在目标划分的基础上,考虑空间区划,通过一定的分类和聚类方法,将目标区域进行合理的划分,使无人机更有效率地执行任务。

航路计算根据无人机执行任务的不同阶段和范围可分为三个层次:航路规划部分、航路点轨迹平滑部分、轨迹跟踪部分。首先根据任务确定优化函数,通过预先获取敌方阵地的威胁分布情况的情报信息,产生满足任务要求的航路点,这些航路点按顺序连接起来后形成的折线段即为初始航路。然后轨迹平滑部分产生以时间为变量的轨迹,要满足任务的要求和无人机动态性能的要求。最后,导航单元与飞机控制器通过通信链路安排无人机进行准备,配置合适的载荷,将新的规划装订到无人机。轨迹跟踪部分利用惯性坐标和方向信息来产生理想的飞行高度、速度和航向;控制无人机按照任务规划起飞、执行任务以及完成任务后的返航。

无人机在执行任务期间,实时的将飞机、传感器和通信系统状态传回任务规划系统评估,以实时对当前规划进行调整,或对未来的规划做出指导。

## 2 MPS功能模块

任务规划系统完成任务下达后的任务资源分配和可用路径生成。其中任务资源分配包括飞机的目标分配、载荷配置、起飞地点、架次批次等的确定。MPS具体的组成取决于上述的规划过程,其中共有的功能

模块包括:

**数据管理模块:**构建基础数据库,包括资源、规划、成果、地图和情报数据库。具备数据基于查询的导入导出、编辑、校验和检索功能。

**资源配置模块:**包括载荷配置、目标分区、飞机分批、装备满足度计算和配置结果输出。主要完成无人机和目标、载荷之间的组合的确定,目标区域合理的划分,飞机起飞和降落地点的确定等功能。

**航路计算模块:**包括初始航路的生成、航路调整和平滑以及航路校验。简单说就是,在敌方威胁、地形威胁等约束条件下,采用优化算法计算出飞机到目标间的安全、有效的最佳或近优的飞行路径。根据飞机的动力学特性、天气和电磁干扰等从时间、高度上对航线进行调整和平滑,然后进行航路校验,判断任务的有效性。

**分发模块:**与作战网络中的各单元进行互联互通,完成任务规划和任务完成后的报告的提交和分发。

**仿真评估模块:**将任务规划结果进行二维和三维的仿真,直观地显示无人机执行任务的过程,对其进行评估。

一个任务规划系统并不需要确切按上述组件划分,但是必须满足上述条目中涉及的需求,每个模块需要分享资源库、成果库、情报库、地图库和规划库。

### 2.1 数据管理模块

任务规划系统(MPS)的效率基本依赖数据库中数据的精度、及时和完整。系统需要各种类型的数据,数据送入系统要被接收、记录、处理为适当的格式,才能存储在相关的数据库。操作者需要具备根据信息决策来创建和修改任务规划的能力。数据管理模块中对数据的一般要求包括:

(1) 任务规划系统无论地图信息是否可用都必须能够运行。尤其地, MPS 必须能够扫描勘测表,地理参考,这些栅格数据存储在地图数据库中。其也必须能处理各种坐标类型的数据,但数据格式必须符合国家或军队信息格式的标准。

(2) 与敌方部队位置、威胁区域等相关的信息必须用于更新情报信息库中的信息。任务必须明确目标点位置列表和每个目标所需的名称和相应坐标系坐标的信息。

(3) 每个任务必须指定任务单元需要的每个目标的信息的时间限制。这些限制包括:到达目标的时间、

理想的巡航时间、不迟于某个时间点完成等。这些时间还必需指名不同的时区(针对长航时任务)。

(4) 设备必须能够接收从其他来源得到的数字地图,如从 SOPT 和 LANDSAT 卫星,并将其存储在地图数据库中,用来补充和更新地形图。

(5) 任务执行期间可随时接受数据,以便任务计划可以基于最新的信息。任务信息必须录入规划数据库,它们也会被它们对应的任务所交叉引用。

## 2.2 资源配置模块

资源配置模块是采取一定的作战法则和分配算法来完成对行动所需的各类资源高效、合理的配置,如飞机、载荷、目标等。资源分配问题的目标是最大化我们执行这些行动获得的利益,最大限度地减少资源消耗,或者是两者的结合。资源分配的主要内容包括装备配置、任务目标分区、批次和架次计算、装备满足度的计算等。装备配置主要指无人机搭载的有效载荷的选择。根据下达的任务的侦察要求,分析任务执行区域的天气、威胁信息和敌方目标信息,确定载荷类型和数量。任务目标分区是根据目标的侦察载荷的类型、目标以及地理位置,采用分类算法将目标分类,然后根据地域分布,遵从就近原则进行空间聚类,将目标区合理划分。批次和架次的计算是依照航路长度和飞机生存概率的综合因素加权计算。装备满足度计算是最后统筹计算起飞机场是否能够满足任务对各类装备的需求。

## 3 MPS的关键技术点

要为无人机系统作战应用开发实用、可行的任务规划系统存在很多的困难和挑战,涉及到大系统的非线性最优化或近优问题,该问题的求解非常复杂。任务规划系统中涉及的关键点主要包括资源分配方法、作战流程、战场环境建模方法、以及航路生成算法。前两点要依据任务实施的具体要求和部署确定(见 2.2 节),下面主要讨论建模和算法的问题。

### 3.1 作战环境的建模

处理任务规划的路径规划问题的方法都必须对连续的作战环境进行离散化,以适应各种搜索算法。作战环境的建模方法就是指采用何种方式将环境离散化。一种直接的离散化方法是采用规则的网络,通常是长方形的<sup>[3]</sup>。为避免不必要的大量空闲空间的离散化工作,对矩形网络进行了扩展改进,产生

了四叉树和八叉树的方法<sup>[4]</sup>,这些方法可以节省内存,缩短运行的时间。另一种方法是采用路径图概念,将作战环境抽象为一个图,其节点是空间的自由点,节点之间的边即为无碰撞的路径。Pettersson 和 Doherty 在文献[5]中提出了采用概率法生成这样一个路径图,借鉴自主机器人的地图学习法中的基于网格的占用图法,通过每个网格单元的占用值(代价)计算无人机被压制而失效的概率  $P$ ,求解  $P$  最小时从起始点到目标点的路径。目前在诸多实际应用中常用的是将作战环境离散化为有向图,并通过生成概率图计算单元的链接的权重,将最小风险路径转变为最短路径的问题。

采用何种方式进行作战环境的建模,可以根据实际问题选择,由于战场环境范围较广,需要的数据量大,所以选择的指标可以为方法可行性、收敛性和计算的负载能力等,同时还要考虑其存储的需求。

### 3.2 航路生成算法

目前路径生成算法众多,散布在各种文献中,可以采取不同的分类标准对其进行分类。如果结合环境的空间建模方法,按照几何学的观点分类,可分为基于栅格的算法(如栅格分解法)和基于图的算法(如路标法),两者各有所长,一般来说,前者可以在实时条件下收敛,但对于一些约束条件难以处理;而基于图的算法的处理结果比较准确,但收敛时间相对较长。如果按照规划决策的计算方法分,可分为最优式和启发式算法<sup>[6]</sup>。最优式算法包括穷举法、动态规划、数学规划、梯度法,牛顿法等。启发式算法则包括启发式搜索、专家系统、神经网络、模拟退火、遗传算法、蚁群算法等。两者根本的区别在于前者的计算时间随问题规模的变大而爆炸式增长。而且路径规划问题一般都是 NP-hard,这意味着不存在已知的多项式时间算法来求取最优解,所以往往采用最优式算法来获取问题的近优解。当前应用较多的是约束条件下最短路径(CSP-Constrained Shortest-Path)算法<sup>[7,8]</sup>,该算法的目标函数要考虑飞机的物理性能约束(如飞行高度、速度、转弯半径、最大爬升下滑角等)和具体飞行任务约束(如要躲避威胁和障碍、被敌方预警探测到的概率以及探测到并击毁的概率)。

在任务规划系统中采用哪一种路径生成算法,要视整个系统的实时和效率的要求,并需要在效率和精度之间权衡。

## 4 结论

无人机的任务规划系统是一个复杂的综合系统,在无人机飞行前和飞行过程中进行资源分配、航路规划;在作战任务或战场环境发生改变时,无人机仍应该能实时地通过系统的调整来完成任务。当前实际应用中的任务规划系统的研制开发还处在比较混乱的状态,常常是自成体系,只针对固定使用模式,缺乏评价标准。总的来说,任务规划系统的基本评价指标应包括:(1)资源分配合理性;(2)威胁模型的正确描述;(3)规划方法目标函数及其约束系数特性;(4)突发事件的响应能力;(5)规划方法的实时性。

任务规划系统的功能需求很大程度上依赖于实际任务要求和资源配置能力,没有一成不变的固定模式,因此,无人机指挥控制的任务规划系统今后的研究重点应面向模块化、通用、易于移植的方向发展。本文结合实际应用开发总结归纳任务规划系统体系结构和相关模块设计,为无人机的实际应用提供相关的参考。

### 参考文献

1 朱剑佑. 无人机任务规划研究. 无线电工程, 2007, 37(12):56 - 58.

- 2 陈冬,周德云,冯琦. 基于粒子群优化算法的无人机航迹规划. 火箭与制导学报, 2007,27(4):340 - 342.
- 3 Mettler B, Toupet O. Receding Horizon Trajectory Planning with an Environment-Based Cost-to-Go Function. IEEE Conference of Decision and Control, Seville, Spain, 2005:4071 - 4076.
- 4 Herman M. Fast Three-Dimensional Collision-Free Motion Planning. IEEE Conference on Robotics and Automation, 1986,3:1056 - 1063.
- 5 Petersson P, Doherty P. Probabilistic Roadmap Based Path Planning for an Autonomous Unmanned Aerial Vehicle, AAI Workshop on Connecting Planning Theory with Practice, ICAPS'2004.2004:1 - 7.
- 6 Chandler PR. Research issues in autonomous control of tactical UAVs. Proc. of the American Control Conference, 1998:94 - 398.
- 7 Carlyle WM, Royset JO, Wood RK. Lagrangian Relaxation and Enumeration for Solving Constrained Shortest-Path Problems, Networks, 2008,52(4):256 - 270.
- 8 Carlyle WM, Wood RK. Near-shortest and K-shortest simple paths. Networks, 2003,46:98 - 109.