

第5章

无人机任务规划和控制站

主要内容

- 无人机任务规划的基本概念。
- 无人机任务规划方法。
- 无人机任务规划的数字地图技术。
- 无人机地面控制站的基本概念。
- 无人机地面控制站的分类、配置和转移运输。

5.1 无人机任务规划的基本概念

由于无人机是无人驾驶的飞行器,所以在飞行前需要事先规划和设定好它的飞行任务和航线。在飞行过程中,地面操纵人员还要随时了解无人机的飞行状态,根据需要操控无人机调整姿态和航线,及时处理飞行中遇到的特殊情况,以保证飞行安全和飞行任务的完成。这就需要配备能够提供任务规划与指挥控制方面相应功能支持的设备或系统,这就是无人机的任务规划与指挥控制系统。

5.1.1 任务规划的定义和特点

1. 任务规划的定义

规划是一个综合性的计划,它包括目标、政策、程序、规则、任务分配、要采取的步骤、要使用的资源以及为完成既定行动方针所需的其他因素。

任务规划(Mission Planning, MP)是对工作实施过程、方法的组织和计划。在军事领域,任务规划已逐渐变为一个专有名词,尤其是现代无人化装备的出现,使得任务规划越来越重要。装备作战规划的结果是装备作战行动的实施依据。对有人化装备而言,规划结果主要作为任务承担人员决策的参考;但对无人化装备而言,规划即控制,是装备运行过程中

唯一的执行依据,因此,任务规划的输出信息必须满足准确性、完整性和一致性的要求。

2. 任务规划的特点

任务规划具有以下几个特点:

- (1) 制作任务规划时需要具有整体性、全局性的思考和考量。
- (2) 制作任务规划须以准确的数据为基础,运用科学方法进行从整体到细节的设计。
- (3) 任务规划须在实际行动实施之前进行,其结果要作为实际行动的具体指导。

5.1.2 任务规划系统的定义和功能

1. 任务规划系统的定义

任务规划系统(Mission Planning System, MPS)是指利用先进的计算机技术采集、存储各种情报信息,进行大规模分析计算,从而辅助制定任务计划的信息系统。任务规划系统的出现和广泛使用是现代意义的任务规划区别于过去所说的作战计划、作战筹划的根本标志。

2. 任务规划系统的功能

作为整个信息化作战系统的一个重要节点,任务规划系统不是一个孤立的封闭系统,它一端与作战指挥系统的任务对接,另一端与作战装备直接交联,如图 5-1 所示,主要包括信息采集与处理模块、规划作业模块、任务预演评估模块和任务输出模块。

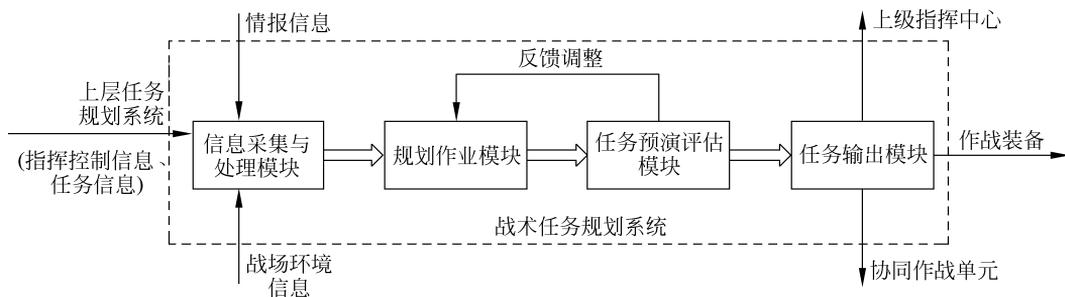


图 5-1 任务规划系统基本组成结构

(1) 信息采集与处理模块。任务规划系统需要采集的信息主要包括上级下达的任务信息、指挥控制信息、情报信息(如目标信息、敌作战意图等)和战场环境信息(敌情、我情、地形、气象、电磁)等。对采集的信息要进行加工处理,包括地形和气象信息显示,禁飞区、威胁区及战场态势标绘等。

(2) 规划作业模块。该模块用于制定装备作战过程的时间、空间和行为准则,通常包括航线规划和机载设备使用规划,以及与其他作战实体的协同和交互规划等。根据任务规划系统所具有的自主化能力大小,通常还包括冲突检测、安全评估、自动的威胁规避和航线生成等分析计算模块,用于辅助人工决策操作。

(3) 任务预演评估模块。规划效果预演主要包括飞行仿真、载荷作战效果仿真等,评估包括装备本身的效能评估和任务规划的作战行动效能评估两个方面。预演评估的主要作用是对装备作战的效果进行预估和判断,并反馈以指导决策,形成优化规划方案,同时便于指挥员和操作员熟悉作战过程,了解和把握作战关键环节。

(4) 任务输出模块。任务输出是将规划结果以数据的形式输出给作战装备和其他作战节点。输出的任务规划信息应该是完备、一致和可理解的,能够被其他信息系统正确读取和



识别,因此输出的规划信息必须遵循既定的信息格式,满足一定的规范要求。

5.1.3 无人机任务规划系统的定义、功能、流程和特点

无人机装备的大量使用是战术级任务规划快速发展的重要推动力之一。因为“机上无人”的特点,无人机对任务规划系统的依赖更加强烈,无论是民用还是军用无人机,其任务规划都是不可或缺的,它是无人机作战的重要环节。

1. 无人机任务规划和任务规划系统的定义

1) 无人机任务规划的定义

无人机任务规划是指根据无人机需要完成的任务、无人机的数量以及携带任务载荷的类型,为无人机制定飞行路线,并进行任务分配与统筹管理。其主要目标是依据环境信息,综合考虑无人机性能、到达时间、油耗、威胁及空域管制等约束条件,为无人机规划出一条或多条从起始点到目标点最优或次优航迹,并确定载荷的配置、使用及测控数据链路的工作计划,保证无人机圆满完成任务并安全返回基地。

从时间上来说,无人机任务规划可分为预先规划和实时规划。预先规划是无人机在执行任务前制定的,主要是综合任务要求、气象环境和已有的情报等因素,制定中长期任务规划。由于飞行环境瞬息万变,难以保证获得的环境信息不发生变化;同时由于任务的不确定性,无人机常常需要临时改变其担负的飞行任务,例如需要执行紧急救援任务,或者需要迅速逃离威胁区域,等等,此时就需要实时任务规划。实时规划是无人机在飞行过程中,根据实际的飞行情况和环境的变化制定出一条可飞航迹,包括对预先规划的修改,以及选择应急的方案等。

2) 无人机任务规划系统的定义

无人机任务规划系统是指利用先进的计算机技术,根据任务需求,从多渠道采集无人机飞行过程需要的各种情报信息,分析战场态势和威胁环境,为任务规划人员制作并提供数字地形、威胁分布、路径评估、油量计算、气象、载荷使用等决策依据,为地面指挥员和操控人员制定无人机出航航线和返航航线,制定作战机群协同作战计划和时间控制节点,确定各类任务载荷的使用时机和方式、武器发射或投掷的时间节点和地点,评估作战效能,以实现作战行动的最佳效果。

无人机任务规划系统是一种综合运用所获取的信息资源,以一种理想或近似理想的方法来规划一个任务,从而达到某种目标的系统,是一种可以描述机载任务的信息系统,主要由软件系统和硬件系统两大部分组成。软件系统又可分为系统软件和应用软件两大部分,主要由输入输出、数据库、人机交互界面、辅助决策、任务预演和回放等模块组成,软件部分是任务规划系统的核心。硬件系统主要由工作站、高档计算机、数传装置、高分辨率彩色显示器、宽幅打印机、投影设备等组成,

2. 无人机任务规划系统的功能

无人机地面控制站通常配备专门的任务规划系统,其主要规划功能如下:

(1) 航迹规划。在无人机避开限制风险区域及耗油最小的原则上指定无人机的起飞、着陆、接近监测点、监测区域、离开监测点、返航及应急飞行等任务过程中的飞行航迹。规划无人机从起始点到目标点的航路,并对规划出的航路进行检验,确保规划的航路可实现性和具备良好的安全性。

(2) 任务分配规划。根据作战任务和情报信息,合理配置无人机载荷资源,确定载荷设备的工作模式。充分考虑无人机自身性能和携带载荷的类型,在多任务、多目标情况下协调无人机及其载荷资源之间的配合,以最短时间以及最小代价完成既定任务。

(3) 数据链路规划。根据频率管控要求及战场电磁环境特点,制定不同飞行阶段测控链路的使用策略规划,包括视距或卫通链路的选择、链路工作频段、频点、使用区域、使用时段、功率控制以及控制权交接等。

(4) 应急处置规划。规划不同任务阶段时的突发情况处置,有针对性地规划应急航路、返航航路、备降机场及应急处置等内容。

(5) 任务推演与评估。在完成任务规划后,通过任务推演完成对无人机作战效果的预估和判断,并反馈以指导决策,形成最终作战计划。对任务规划结果进行动态推演,能对拟制完成的作战计划进行正确分析,计算达成作战目标的程度,并以形象的方式表达任务规划意图,从而作为辅助决策手段供作战部门和指挥员决策。

(6) 数据生成加载。能够利用航路规划、载荷规划、链路规划、应急处置规划等内容和结果自动生成任务加载数据,并通过数据加载卡或无线链路加载到无人机相关的功能系统中。

3. 无人机任务规划流程

无人机任务规划的基本流程如图 5-2 所示。从图 5-2 可看出,首先通过任务接收与输入组件接收来自上级指挥控制系统发送的作战任务信息;然后,进行相关数据准备,分析作战目标的相关信息,并根据实时情报或存储在数据库中的威胁、气象、地理信息系统(GIS)、空中交通管制等信息,形成约束条件,并实现战场可视化;在此基础上,选择合适的战术(包括队形、作战方式、作战时序等),得到初步的目标和角色分配;在上述条件的基础上,进行航路规划、载荷规划和通信规划。

(1) 航路规划。包含任务区域内和巡航阶段在内的多机协同航路规划、应急返航/备降航路规划等,并对规划好的航路进行航路冲突检测。

(2) 载荷规划。包含侦察传感器规划、武器投放规划、电子战载荷规划等。

(3) 通信规划。包含对视距和超视距链路的使用规划,以及链路的频谱管理等,可能的情况下还需要进行链路的威胁和抗干扰分析。

至此,初步的预先任务规划完成,通过任务预演实现对任务的安全性、完成度和效能等方面的综合评估,以确认此任务规划效果的优劣,对不满足要求的部分做出调整,调整后满足要求的,按照标准文件格式直接输出任务规划结果,加载到无人机平台。当上级任务、战场态势发生变化时,要进行实时任务重规划,包括整个任务重规划或航路、链路及载荷的局部重规划。

4. 无人机任务规划的特点

无人机任务规划有以下特点:

(1) 任务规划输出信息的准确性、完整性、一致性要求高。无人机起飞、飞往任务区域、执行任务、返航等环节虽然可实现“完全自主”,但都是按照任务规划信息的指引完成的,对任务规划数据具有绝对的依赖性,因此任务规划信息的准确性、完整性和一致性对无人机的任务效果及飞行安全将产生直接影响。

(2) 无人机任务规划系统应具备快速的重规划能力。无人机执行任务过程中,战场环

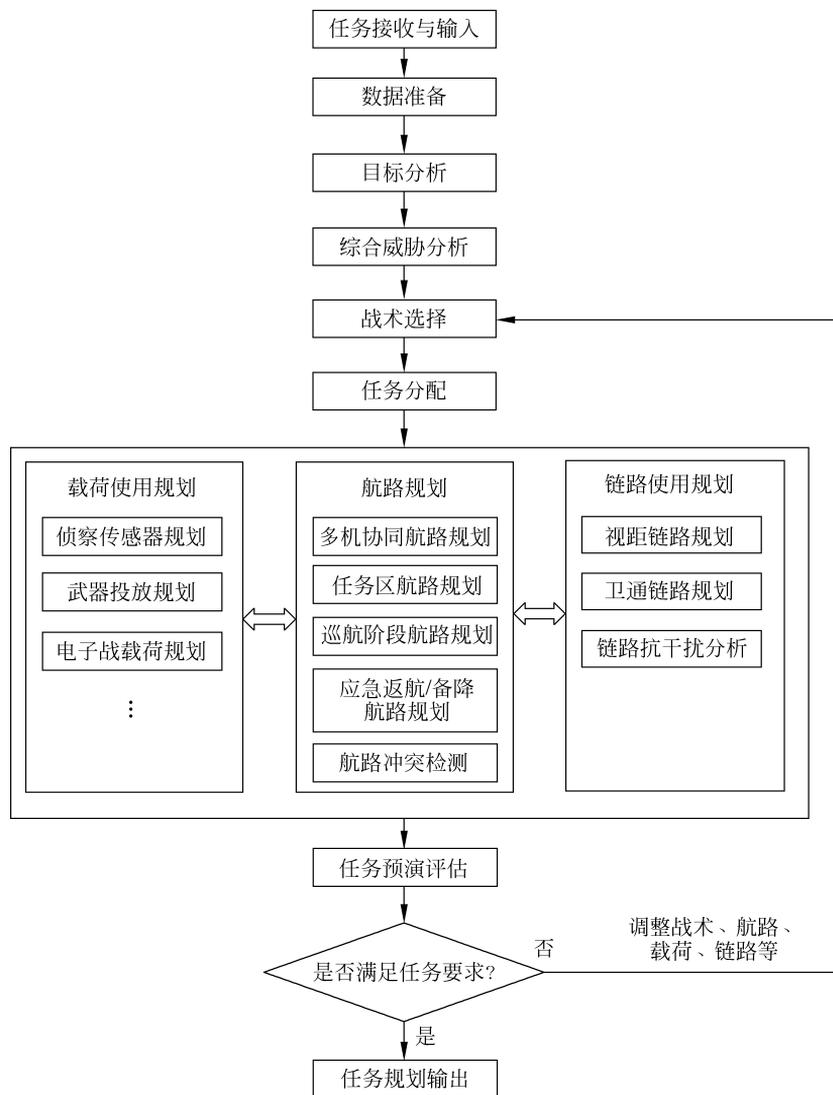


图 5-2 无人机任务规划基本流程

境复杂多变,很多情况下飞行前预先规划的航路和任务模式将不得不进行修正,以确保其生存和任务成功率。因此,要求无人机任务规划系统具有快速的重规划能力。这种重规划能力是体现无人机系统性能的一项重要指标。重规划对无人机态势感知和决策等方面的要求非常高。在无人机发展的初级阶段,重规划系统可以设置在无人机地面控制站;随着无人机智能水平的不断提升,这种重规划功能将逐步植入飞机平台,并且重规划的时间将越来越短,效果越来越好,以应对复杂多变的战场环境。

(3) 无人机任务规划系统应与其他航空器任务规划系统的发展协调一致。作战任务的协同需求要求无人机任务规划系统具有一定的通用性和一致性。以美军两个典型无人机型号为例,“捕食者”采用了 PFPS(便携式任务规划系统)平台,“全球鹰”采用 AFMSS(空军任务支持系统)平台,因此美军无人机采用了与其现有的战术任务规划系统相一致的平台。由于无人机本身通用化发展要求及美军战术任务规划系统被联合作战任务规划系统(JMPS)

所取代等多方面因素的共同作用, JMPS 是美军无人机任务规划系统发展的趋势。JMPS 的设计目的是为各种机型的任务规划系统研发提供统一环境和界面, 按照 JMPS 的设计理念, 某型飞机的任务规划系统=通用任务规划环境(MPE)+专用组件(UPC)+硬件设备, 其中 MPE=数据库+保障信息+JMPS 框架+通用组件(CC)。因此, 对于无人机任务规划系统而言, 就是在通用任务规划环境的基础上开发无人机的专用组件。

(4) 无人机任务规划的制作人员需要同时具备战术和技术素养。无人机任务规划的实质体现了其作战过程的“两个载体”和“两个约束”。首先, 任务规划是作战任务的载体, 是将具体作战任务和要求采用信息化的方法转换为无人机可识别和执行的数据结构; 其次, 任务规划是无人机战术战法的载体, 制作任务规划的过程就是将指挥员的作战思想、作战方法赋予无人机的过程。同时, 任务规划需要满足两个约束, 一是装备约束, 即规划的作战过程不能超出无人机装备的实际战术和技术性能限制, 确保任务规划的有效性; 二是环境和任务约束, 制作任务规划时需要综合考虑地形、敌情、气象、电磁等环境信息, 以及到达时间、进入方向等具体任务要求, 确保任务执行的安全性和可靠性。前者是静态约束, 后者是动态约束。要体现无人机任务规划“两个载体”和“两个约束”的要求, 对任务规划制作人员而言, 既要熟悉无人机作战使用, 同时要掌握无人机装备知识, 即对战术和技术两方面的素养要求都比较高。

5.2 无人机任务规划方法

无人机任务规划是一项包含战场分析、任务分配与航迹规划、指挥调度与控制等诸多内容在内的复杂功能系统, 涉及无人机系统的顶层规划及相关软硬件设计。其采用的规划方法既有传统的优化算法, 也有通过模拟某一自然现象建立起来的智能优化算法。

5.2.1 传统优化算法

传统的优化算法主要有动态规划算法和迪杰斯特拉算法。

1. 动态规划算法

1) 动态规划算法简介

动态规划是运筹学的一个分支, 是求解决策过程最优化的数学方法。它是 20 世纪 50 年代初美国数学家 R. E. Bellman 等人在研究多阶段决策过程的优化问题时提出来的。动态规划算法是一种分步最优化方法, 它既可用于求解约束条件下的函数极值问题, 也可用于求解约束条件下的泛函极值问题。动态规划算法的基本思想是: 将待求解的问题分解为若干个子问题(阶段), 按顺序求解子阶段, 前一子问题的解为后一子问题的求解提供了有用的信息; 在求解任一子问题时, 列出各种可能的局部解, 通过决策保留那些有可能达到最优的局部解, 丢弃其他局部解; 依次解决各子问题, 最后一个子问题就是初始问题的解。

2) 动态规划算法的适用范围

能采用动态规划求解的问题一般要具有 3 个性质:

(1) 满足最优化原理。如果问题的最优解所包含的子问题的解也是最优的, 就称该问题具有最优子结构, 即满足最优化原理。

(2) 无后效性。即某阶段状态一旦确定, 就不受这个状态以后决策的影响。也就是说,



某状态以后的过程不会影响以前的状态,只与当前状态有关。

(3) 有重叠子问题。即子问题之间是不独立的,一个子问题在下一阶段决策中可能被多次使用到。该性质并不是动态规划适用的必要条件,但是如果没有这条性质,动态规划算法同其他算法相比就不具备优势。

3) 动态规划算法求解的基本步骤

动态规划所处理的问题是一个多阶段决策问题,一般由初始状态开始,通过对中间阶段决策的选择,达到结束状态。这些决策形成了一个决策序列,同时确定了完成整个过程的一条活动路线(通常是求最优的活动路线)。动态规划的设计都有着一定的模式,一般要经历以下几个步骤:

(1) 划分阶段。按照问题的时间或空间特征,把问题分为若干个阶段。在划分阶段时,注意划分后的阶段一定要是有序的或者是可排序的,否则问题就无法求解。

(2) 确定状态和状态变量。将问题发展到各个阶段时所处于的各种客观情况用不同的状态表示出来。当然,状态的选择要满足无后效性。

(3) 确定决策并写出状态转移方程。因为决策和状态转移有着天然的联系,状态转移就是根据上一阶段的状态和决策来导出本阶段的状态。所以,如果确定了决策,也就可以写出状态转移方程。但事实上常常是反过来做,即根据相邻两个阶段的状态之间的关系来确定决策方法和状态转移方程。

(4) 寻找边界条件。给出的状态转移方程是一个递推式,需要一个递推的终止条件或边界条件。

4) 动态规划算法求解的简化步骤

一般,只要解决问题的阶段、状态和状态转移决策确定了,就可以写出状态转移方程(包括边界条件)。实际应用中,可以按以下几个简化的步骤进行求解:

(1) 分析最优解的性质,并刻画其结构特征。

(2) 递归地定义最优解。

(3) 以自底向上或自顶向下的记忆化方式(备忘录法)计算出最优值。

(4) 根据计算最优值时得到的信息,构造问题的最优解。

2. 迪杰斯特拉算法

1) 带权图、有向图和路径的定义

在处理有关图的实际问题时,往往有值的存在,比如公里数、运费、城市人口数以及电话部数等。一般这个值称为权值,带权值的图称为带权图,也称为网。例如,带权图的顶点代表城市,边的权可能代表城市之间的距离,或者城市之间的运费,或者城市之间的车流量等。

若图中的每条边都是有方向的,则称为有向图。有向图中的边是由两个顶点组成的有序对,有向图是单向的,有箭头,例如路径可以从 A 节点到 B 节点,但不可以从 B 节点到 A 节点;无向图是双向的,没有箭头,路径可以从 A 到 B,也可以从 B 到 A。

在一个无权的图中,若从一个顶点到另一顶点存在着一条路径,则该路径长度为该路径上所经过的边的数目,它等于该路径上的顶点数减 1。从一个顶点到另一顶点可能存在着多条路径,每条路径上所经过的边数可能不同,即路径长度不同,把路径长度最短(即经过的边数最少)的那条路径叫作最短路径,其路径长度叫作最短路径长度或最短距离。

对于带权图,考虑路径上各边上的权值,则通常把一条路径上所经边的权值之和定义为

该路径的路径长度,或称带权路径长度。从源点到终点可能不止一条路径,把带权路径长度最短的那条路径称为最短路径,其路径长度(权值之和)称为最短路径长度或者最短距离。

2) 迪杰斯特拉算法简介

迪杰斯特拉算法是由荷兰计算机科学家迪杰斯特拉(Dijkstra)于1959年提出的,是从一个顶点到其余各顶点的最短路径算法,解决的是有向图中最短路径问题。

迪杰斯特拉算法是图论中求解最短路径问题的经典算法。该算法建立在抽象的网络模型上,把路径抽象为网络中的边,以边的权值来表示与路径相关的参数,算法确定了赋权网络中从某个顶点到所有其他顶点的具有最小权的路径。权的含义是广泛的,可以表示距离、数量、代价等。通常把两点之间的最小权称为两点之间的距离,而把相应的问题概括为最短路径问题。迪杰斯特拉算法复杂度的数量级为顶点数的二次方,当网络模型中顶点数和边数较多的情况下,算法的计算量较大,时间花费较多。在现行实用系统中,网络模型的规模常常较大,顶点数多达上千或上万,因此,迪杰斯特拉算法在实际应用中不尽人意。

3) 迪杰斯特拉算法原理

迪杰斯特拉算法的基本原理是:每次新扩展一个距离最短的顶点,更新与其相邻的顶点的距离。当所有边的权都为正时,由于不会存在一个距离更短的没扩展过的顶点,所以这个顶点的距离永远不会再被改变,因而保证了算法的正确性。不根据这个原理,用迪杰斯特拉算法求最短路的图不能有负权边,因为扩展到负权边的时候会产生更短的距离,有可能就破坏了已经更新的顶点距离不会改变的性质。

5.2.2 智能优化算法

本节介绍4个智能优化算法:蚁群优化算法、遗传算法、合同网协议算法和黑板模型算法。

1. 蚁群优化算法

1) 蚁群优化算法简介

蚁群优化(Ant Colony Optimization, ACO)算法是一种用来在图中寻找优化路径的概率型算法。它由Marco Dorigo于1992年在其博士论文中提出,其灵感来源于蚂蚁在寻找食物过程中发现路径的行为。各只蚂蚁在没有事先告诉它们食物在什么地方的前提下开始寻找食物。当一只蚂蚁找到食物以后,它会向周围环境释放一种挥发性分泌物,称为信息素,以吸引其他的蚂蚁过来,这样越来越多的蚂蚁会找到食物。信息素随着时间的推移会逐渐挥发消失,信息素浓度的大小表征路径的远近。有些蚂蚁并没有像其他蚂蚁一样总重复同样的路径,它们会另辟蹊径,如果另开辟的路径比原来的其他路径更短,那么,渐渐地更多的蚂蚁被吸引到这条较短的路径上来。经过一段时间,可能会出现一条最短的路径被大多数蚂蚁重复着。

2) 蚁群优化算法原理

通过观察与研究,发现蚂蚁在搜索过程中有一定的移动规则,具体分为以下几部分。

(1) 范围。蚂蚁观察到的只是一个很小的范围。

(2) 环境。蚂蚁所在的环境是一个虚拟的世界,其中有障碍物,有别的蚂蚁,还有信息素。信息素有两种,一种是找到食物的蚂蚁释放的食物信息素,另一种是找到窝的蚂蚁释放的窝的信息素。每个蚂蚁仅能感知它所处的环境中的信息素,环境以一定的速率让信息素



消失。

(3) 觅食规则。每只蚂蚁在能感知的范围内寻找食物,如果有,就直接过去;否则看是否有信息素,并且比较在能感知的范围内哪一点的信息素最浓,这样,它就朝信息素浓度最大的地方走。每只蚂蚁会以小概率犯错误,从而并不总是往信息素最浓的点移动。蚂蚁找窝的规则和上面一样,只不过它对窝的信息素做出反应,而对食物信息素没反应。

(4) 移动规则。每只蚂蚁都向信息素最多的方向移动。当周围没有信息素指引的时候,蚂蚁会按照自己原来运动的方向走,且在运动的方向有随机的小的扰动。为了防止蚂蚁原地转圈,它会记住最近刚走过了哪些点,如果发现要走的下一点已经在最近走过了,它会尽量避开。

(5) 避障规则。如果蚂蚁要移动的方向有障碍物,它会随机地选择另一个方向。如果有信息素指引,它会按照觅食的规则行动。

(6) 释放信息素规则。每只蚂蚁在刚找到食物或者窝的时候释放的信息素最多,并随着它走远的距离,释放的信息素越来越少。根据这几条规则,蚂蚁之间并没有直接的关系,但是每只蚂蚁都和环境发生交互,而通过信息素这个纽带把各只蚂蚁关联起来。例如,当一只蚂蚁找到了食物时,它并没有直接告诉其他蚂蚁这里有食物,而是向环境释放信息素。当其他的蚂蚁经过它附近的时候,就会感觉到信息素的存在,进而根据信息素的指引找到食物。

3) 蚁群优化算法的特点

(1) 蚁群优化算法是一种自组织算法。在系统论中,自组织和他组织是组织的两个基本分类,其区别在于组织力或组织指令是来自系统的内部还是来自系统的外部,来自系统内部的是自组织,来自系统外部的是他组织。自组织是在没有外界作用下使得系统熵减小的过程(即系统从无序到有序的变化过程)。蚁群优化算法充分体现了这个过程。当算法开始的初期,单个的人工蚂蚁无序地寻找解,算法经过一段时间的演化,人工蚂蚁间通过信息素的作用,自发地越来越趋向于寻找到接近最优解的一些解,这就是一个从无序到有序的过程。

(2) 蚁群优化算法是一种并行算法。每只蚂蚁搜索的过程彼此独立,仅通过信息素进行通信。所以蚁群优化算法可以看作一个分布式的多点系统,它在问题空间的多个点同时进行独立的解搜索,不仅提高了算法的可靠性,也使得算法具有较强的全局搜索能力。

(3) 蚁群优化算法是一种正反馈算法。从真实蚂蚁的觅食过程中不难看出,蚂蚁能够最终找到最短路径,直接依赖于最短路径上信息素的积累,而信息素的积累却是一个正反馈的过程。对蚁群优化算法来说,初始时刻在环境中存在浓度完全相同的信息素;给予系统一个微小扰动,使得各个路径上的信息素浓度不相同,蚂蚁构造的解就出现了优劣。算法采用的反馈方式是在较优的解经过的路径上留下更多的信息素,而更多的信息素又吸引了更多的蚂蚁,这个正反馈的过程使得初始的不同不断扩大,同时又引导整个系统向最优解的方向进化。因此,正反馈是蚁群优化算法的重要特征,它使得算法演化过程得以进行。

(4) 蚁群优化算法具有较强的鲁棒性。相对于其他算法,蚁群优化算法对初始路线要求不高,即蚁群优化算法的求解结果不依赖于初始路线的选择,而且在搜索过程中不需要进行人工的调整。其次,蚁群优化算法的参数较少,设置简单,便于蚁群优化算法应用到其他组合优化问题的求解。

2. 遗传算法

1) 遗传算法简介

遗传算法(Generic Algorithm,GA)是借鉴生物界的进化规律(适者生存、优胜劣汰的遗传机制)演化而来的随机优化搜索方法。它是由美国的 J. Holland 教授于 1975 年首先提出的,其主要特点是:直接对结构对象进行操作,不存在求导和函数连续性的限定;具有内在的并行性和更好的全局寻优能力;采用概率化的寻优方法,自适应地调整搜索方向,不需要确定的规则。遗传算法已被人们广泛地应用于组合优化、机器学习、信号处理、自适应控制和人工生命等领域,是现代智能计算中的关键技术。

遗传算法是计算数学中用于解决最优化问题的搜索算法,是进化算法的一种。它是借鉴了进化生物学中的一些现象而发展起来的,这些现象包括遗传、突变、自然选择以及杂交等。

遗传算法计算优化的操作过程就如同生物学上生物遗传进化的过程,主要有 3 个基本算子(或称为操作):选择(Selection)算子、交叉(Crossover)算子、变异(Mutation)算子。

(1) 选择算子,又称复制繁殖算子。选择是从种群中选择生命力强的染色体,产生新种群的过程。选择的依据是每个染色体的适应度大小,适应度越大,被选中的概率就越大,其下一代的个数就越多。选择操作的主要目的是避免基因缺失,提高全局收敛性和计算效率。选择的方法根据不同的问题确定。最常见的方法有轮盘赌选择、局部选择和截断选择等。

(2) 交叉算子,又称重组配对算子。当许多染色体相同或后代的染色体与上一代没有很大差别时,可通过染色体重组来产生新一代染色体。染色体重组分两个步骤进行:首先,在新复制的群体中随机选取两个染色体,每个染色体由多个基因组成;然后,沿着这两个染色体的基因随机取一个位置,二者互换从该位置起的末尾部分基因。

(3) 变异算子。选择算子和交叉算子基本上完成了遗传算法的大部分搜索功能,而变异则增加了遗传算法找到接近最优解的能力,即决定了遗传算法的局部搜索能力。变异就是以很小的概率随机改变字符串某个位置上的值。在二进制编码中,就是将 0 变成 1,将 1 变成 0。变异是一种随机搜索,但与选择算子、交叉算子结合在一起,能避免由复制和交叉引起的某些信息的永久性丢失,从而保证了遗传算法的有效性。

遗传算法中涉及的参数如表 5-1 所列。

2) 遗传算法的特点

遗传算法具有以下几方面的特点。

(1) 遗传算法从问题解的串集开始搜索,而不是从单个解开始。这是遗传算法与传统优化算法最大的区别。传统优化算法是从单个初始值开始迭代求最优解,容易陷入局部最优解。遗传算法从串集开始搜索,覆盖面大,利于全局择优。

(2) 许多传统搜索算法都是单点搜索算法,容易陷入局部最优解。遗传算法同时处理群体中的多个个体,即对搜索空间中的多个解进行评估,降低了陷入局部最优解的风险,同时算法本身易于实现并行化。

(3) 遗传算法基本上不用搜索空间的知识或其他辅助信息,而仅用适应度函数值来评估个体,在此基础上进行遗传操作。适应度函数不仅不受连续可微的约束,而且其定义域可以任意设定。这一特点使得遗传算法的应用范围大大扩展。

(4) 遗传算法不是采用确定性规则,而是采用概率的变迁规则来确定其搜索方向。

(5) 遗传算法具有自组织、自适应和自学习性。遗传算法利用进化过程获得的信息自行组织搜索,适应度大的个体具有较高的生存概率,并获得更适应环境的基因结构。

表 5-1 遗传算法参数

| 序号 | 遗传学概念 | 遗传算法概念 | 数学概念 |
|----|-------|--------------------------|--|
| 1 | 个体 | 要处理的基本对象、结构 | 即可行解 |
| 2 | 群体 | 个体的集合 | 被选定的一组可行解 |
| 3 | 染色体 | 个体的表现形式 | 可行解的编码 |
| 4 | 基因 | 染色体中的元素 | 编码中的元素 |
| 5 | 基因位 | 某一基因在染色体中的位置 | 元素在编码中的位置 |
| 6 | 适应值 | 个体对于环境的适应程度,或在环境压力下的生存能力 | 可行解所对应的适应度函数值 |
| 7 | 种群 | 被选定的一组染色体或个体 | 根据入选概率定出的一组可行解 |
| 8 | 选择 | 从群体中选择优胜的个体,淘汰劣质个体的操作 | 保留或复制适应度值大的可行解,去掉小的可行解 |
| 9 | 交叉 | 一组染色体上对应基因段的交换 | 根据交叉原则产生的一组新解 |
| 10 | 交叉概率 | 染色体对应基因段交换的概率(可能性大小) | 闭区间 $[0, 1]$ 上的个值,一般为 $0.65 \sim 0.90$ |
| 11 | 变异 | 染色体上的基因变化 | 编码的某些元素被改变 |
| 12 | 变异概率 | 染色体上基因变化的概率(可能性大小) | 开区间 $(0, 1)$ 内的一个值,一般为 $0.001 \sim 0.01$ |

3) 遗传算法原理

在遗传算法里,优化问题的解被称为个体(染色体),它表示为一个变量序列(基因串),序列中的每一位都称为基因。个体一般被表达为简单的字符串或数字串,不过也有其他的依赖于特殊问题的表示方法,这一过程称为编码。

算法首先随机生成一定数量的个体,有时操作者也可以对这个随机生成过程进行干预,以提高初始种群的质量。在每一代中,每一个个体都被评价,并通过计算适应度函数得到一个适应度值。种群中的个体被按照适应度排序,适应度高的在前面。这里的“高”是相对于初始种群的“低”适应度来说的。

然后,产生下一代个体并组成种群。这个过程是通过选择、交叉和变异完成的。选择是根据新个体的适应度进行的,但这并不意味着完全以适应度高低作为导向,而是以概率选择的方式。因为单纯选择适应度高的个体将可能导致算法快速收敛到局部最优解而非全局最优解,这种情况称为早熟。作为折中,遗传算法依据的原则是:适应度越高,被选择的机会越高;而适应度越低,被选择的机会也就越低。初始的数据可以通过这样的选择过程组成一个相对优化的群体。随后,被选择的个体进入交叉、变异过程。

交叉运算中,算法对两个相互配对的个体依据交叉概率按某种方式相互交换其部分基因,从而形成两个新的个体。交叉运算是遗传算法区别于其他进化算法的重要特征,它在遗传算法中起关键作用,是产生新个体的主要方法。而后变异运算依据变异概率将个体编码串中的某些基因值用其他基因值来替换,从而形成一个新的个体。遗传算法中的变异运算是产生新个体的辅助方法,它决定了遗传算法的局部搜索能力,同时保持种群的多样性。交

叉运算和变异运算相互配合,共同完成对搜索空间的全局搜索和局部搜索。由于最好的个体总是更多地被选择以产生下一代,而适应度低的个体逐渐被淘汰,因此,经过上述一系列的过程,产生的新一代个体不同于初始的一代,并一代一代向整体适应度增大的方向发展。这样的过程不断重复,直到满足终止条件为止。遗传算法的具体步骤如图 5-3 所示。

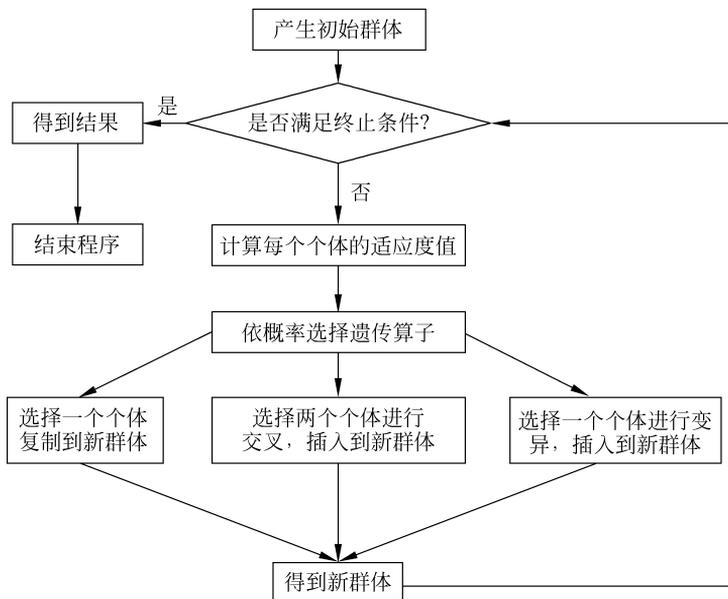


图 5-3 遗传算法的具体步骤

遗传算法的具体步骤描述如下:

- (1) 选择编码策略,把可行解集合转换到染色体结构空间。
- (2) 定义适应度函数,便于计算适应度值。
- (3) 确定遗传策略,包括选择群体大小,选择、交叉、变异方法以及确定交叉概率、变异概率等遗传参数。
- (4) 随机产生初始化群体。
- (5) 计算群体中的个体或染色体解码后的适应度值。
- (6) 按照遗传策略,运用选择、交叉和变异算子作用于群体,形成下一代群体。
- (7) 判断群体性能是否满足某一指标,或者是否已完成预定的迭代次数,不满足则返回第(5)步,或者修改遗传策略再返回第(6)步。

3. 合同网协议方法

1) 合同网协议方法简介

合同网协议(Contract Net Protocol,CNP)是分布式环境下广泛采用的较为成熟的协商机制。1980年,Smith第一个提出了使用合同网协议经济学模型控制多智能体系统的概念。其主要思想是:当一个任务可以被执行时,这个任务就被公开招标,等待执行该任务的所有个体则参与投标,最后中标的个体,也就是最适合完成该任务的个体,获得完成这个任务的合同并开始执行。现存的大部分基于自由市场的多智能体合作模型都是以此为基础建立起来的。

2) 合同网协议方法原理

从系统决策的角度看,基于合同网协议的任务分配过程主要包括 4 个阶段:招标阶段、投标阶段、中标阶段和签约阶段。基于合同网协议的任务分配过程如图 5-4 所示。

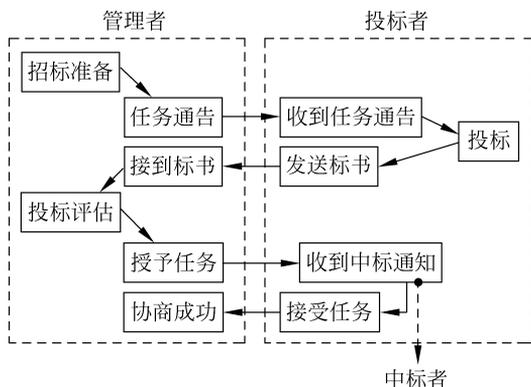


图 5-4 合同网协议方法的任务分配过程

当管理者有任务需要其他个体帮助解决时,它就向其他个体广播有关该任务的信息,即发出任务通告。招标阶段的决策主要是由管理者决定任务发布的相关内容、发布的范围和方式。投标阶段的决策是由投标者确定是否需要投标,需要投标时如何选择合适的投标值。中标阶段的决策是由管理者根据投标者提交的标值,通过评标选择出合适的中标者。签约阶段的决策是由中标者决定是否与管理者签订任务执行合同。在合同网协议方法中,不需要预先规定个体的角色,任何个体都可以通过发布任务通告而成为管理者,任何个体也可以通过应答任务通告而成为投标者直至最终成为中标者。这种灵活性使任务能够按层次分解和分配。系统中的每一待求解(任务)由承担该任务的个体负责完成。当该个体无法独立完成该任务时,它就将任务分解,并履行管理者职责,为每一个子任务发送任务通告,然后从返回的投标中选择最合适的个体,将子任务分配给这一个体,建立相应的合同。按合同执行子任务的中标个体若不能独立完成任务,就需扮演管理者角色,将子任务继续分解,并按合同网方式进行分配。如此进行下去,直到所有任务都能顺利完成。

4. 黑板模型算法

1) 黑板模型算法简介

对于一个复杂的无人机系统,现有的任务分配方法影响其实用性最主要的障碍是问题求解的控制与协调能力弱,具体表现如下:系统各模块间难以统一协调地工作;难以进行合理的知识调度;用户难以了解系统的功能和结构,既不便于维护,又限制了自身功能的发挥。根本原因在于,系统没有控制信息,没有记录求解过程中的状态信息,以及灵活运用这些信息的机制。

黑板模型在这方面提供了很多较好的解决思路。黑板结构是一种多知识源知识库系统,其概念最早于 1962 年由 A. Newell 提出。其基本思想是:多个专家协同求解一个问题,黑板是一个共享的问题求解工作空间,多个专家都能“看到”黑板。当问题和初始数据记录到黑板上以后,求解开始。所有专家通过“看”黑板寻求利用其专家经验知识求解问题的机会。当一个专家发现黑板上的信息足以支持他进一步求解问题时,他就将求解结果记录在

黑板上。新增加的信息有可能使其他专家继续求解。重复这一过程,直到问题彻底解决,获得最终结果。

2) 黑板模型原理

在黑板结构中,一个问题的所有可能的解称作解空间,解空间被组织成基于应用的分层结构,每层信息代表部分解并由唯一的符号集来描述。黑板结构同时使用多个知识源解决问题,每个知识源相当于一个独立的专家,集中处理某个特定知识的子问题,整个过程通过控制结构来协调知识源间的处理,以事件触发的方式进行。黑板结构通常由3个主要部分组成:知识源、黑板和控制机构,如图5-5所示。

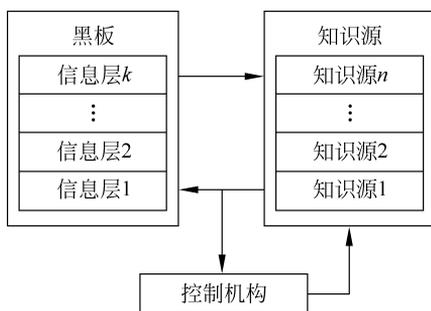


图 5-5 黑板模型结构

知识源是描述某个独立领域问题的知识及其知识处理的知识库。一个黑板模型系统通常包括多个知识源,每个知识源可用来完成某些特定的解题功能,其作用域为黑板结构中的几个信息层。知识源具有“条件-动作”的形式。条件描述了知识源应用求解的前提,动作描述了知识源的行为。当条件满足时,知识源被触发,其动作部分增加或修改黑板上的内容(假说或假说元素)。知识源是分别存放且相互独立的,知识源之间不能直接通信或相互调用,它们通过黑板进行通信,合作求出问题的解。

黑板是用来存储数据、传递信息和处理方法的动态数据库,是系统中的全局工作区。黑板上的内容称为假说,是在特定的信息层上对领域问题的某一个侧面的一种解释。整个黑板分成若干个信息层,每一层用于描述领域问题的某一类信息。知识源改变黑板的内容,从而逐步导出问题的解。在问题求解过程中所产生的部分解全部记录在黑板上。各知识源之间的通信和交互只能通过黑板进行,黑板是公共可访问的。

控制机构是黑板模型求解问题的推理机构,由监督程序和调度程序组成。监督程序根据黑板的状态变化激活有关知识源,一旦黑板上的内容改变,监督程序将动作部分可执行的知识源放入调度队列中。调度程序通过一定的优先原则(如最佳性原则、重要性原则等)选择最合适的知识源来执行,用执行的结果修改黑板状态,为下一步推理循环创造条件。

黑板模型求解问题的步骤如下:

- (1) 执行一个知识源的动作部分,改变黑板上的内容。
- (2) 根据目前黑板上的信息和各知识源为形成新解所提供的信息,控制模块选择一个合适的知识源。
- (3) 通过对知识源的条件匹配来形成知识源调用环境,并执行知识源的动作部分,转步骤(1)。

一个领域问题的求解是由以上循环推理逐步实现的。每次的推理过程是动态的,可以选择的推理方法有前向推理、后向推理和双向推理。如果某一知识源的输入层比其输出层要低,即黑板的下层信息作为它的输入,而把知识源推理结果输出到其上层信息层中去,那么这个知识源的应用是一个由条件到目标的前向推理。反之,信息输入层高于知识源结果输出层的情况,则该知识源的应用是一个由目标到条件的后向推理。所以在黑板模型中,推理方法的选择反映在知识源选择上。黑板模型不事先决定求解问题时推理方法和知识应用



方法,它们是在问题求解过程中由知识源的调用情况决定的。

黑板结构作为一种高效而通用的知识存储与处理工具,能记载问题求解过程中产生的状态信息和中间结果,调度和控制多知识源知识库的推理,管理知识源之间的通信和知识转换,在大容量知识处理方面呈现出独特的优越性。

5.3 无人机任务规划的数字地图技术

无人机任务规划系统的工作需要有一个数字化的基础环境来支撑,通常称为任务规划环境(Mission Plan Environment, MPE),而数字地图则是 MPE 的重要组成部分,起着基础性作用。任务规划中所需的地理环境显示与咨询、地理环境对作战任务的影响分析、战场敌我态势变化情况显示等,均需在数字地图平台上通过战场态势标绘、地形分析予以实现。

5.3.1 数字地球的基本概念

1. 数字地球的定义

数字地球(Digital Earth)是一个以地球坐标为依据的、具有多分辨率的海量数据和多维显示的地球虚拟系统,其概念最早是在 1998 年 1 月 31 日由时任美国副总统的戈尔率先提出来的,他明确地将数字地球与遥感技术、地理信息系统、计算机技术、网络技术、多维虚拟现实技术等高新技术和可持续发展决策、农业、灾害、资源、全球变化、教育、军事等方面的社会需要联系在一起。

数字地球实际上就是信息化的地球,即一个完整的地球虚拟对照体。换言之,数字地球可以理解为对真实地球及其相关现象统一的数字化重现和认识,在三维地球的数字框架上,按照地理坐标集成有关的海量空间数据及相关信息,构建一个数字化的地球,即虚拟的数字地球,为人们认识、改造和保护地球提供一种重要的信息源和新技术手段,以及采用数字化的手段来处理整个地球的自然和社会活动诸方面的问题,最大限度地利用资源。

数字地球概念的形成基于目前人类已经掌握或将要拥有的新技术以及多种高新技术的综合集成,其核心思想有两点:一是用数字化手段统一地处理地球问题;二是最大限度地利用信息资源,包含两个层次:

(1) 将地球表面每一点上的固有信息,如地形、地貌、地质、矿藏、植被、动物种群、建筑、海洋、河流、湖泊、水文等数字化,按地球的地理坐标加以整理,然后构成一个全球的三维数字信息模型。

(2) 在三维数字地球的基础上再嵌入与空间位置有关的相对变动的信息,如人文、经济、政治、军事、科技乃至历史等,组成一个意义更加广泛的多维的数字地球。人们可以快速、全面、形象地了解地球上任何一点的信息,从而实现“信息就在指尖上”的梦想。

2. 数字地球体系的内容

人类生存的地球系统是指由大气圈、水圈、陆圈(岩石圈、地幔、地核)和生物圈(包括人类)组成的有机整体。地球系统科学就是研究组成地球系统的这些子系统之间相互联系、相互作用中运转的机制以及地球系统变化的规律和控制这些变化的机理,从而为全球环境变化预测建立科学基础,并为地球系统的科学管理提供依据。

数字地球是对真实地球及其相关现象统一性的数字化重现和认识,数字地球由下列体

系构成：数据获取与更新体系、数据处理与存储体系、信息提取与分析体系、数据与信息传播体系、数据库体系、网络体系、专用软件体系等。数字地球的提出一方面将给地球系统科学带来了研究方法、手段的革命性变化；另一方面也要看到它是全球信息化的产物，是一项长期的战略目标，需要经过全人类的共同努力才能实现。

3. 数字地球的意义

地球是人类信息资源的核心，它包含了80%以上的人类关心的信息资源。数字地球是对真实地球及其相关现象的统一的数字化的认识，是以互联网(Internet)为基础，以空间数据为依托，以虚拟现实技术为特征，具有三维界面和多种分辨率浏览器的面向公众开放的系统。数字地球是世界进入信息时代最重要的标志之一。借助于数字地球，人们无论走到哪里，都可以按地球坐标了解地球上任何一处、任何方面的信息。

数字地球中包含高分辨率的卫星图像、数字化地图以及有关资源、环境、社会、经济和人口等海量数据或信息，按地理坐标，从局部到整体，从区域到全球进行整合、融合及多维显示，因而具有极高的应用价值，能为解决复杂生产实践和知识创新、技术开发与理论研究提供实验条件和实验基地(包括仿真和虚拟实验)。这是一个大的技术革命，它的意义在于它代表了当今科技的发展战略目标和方向。

5.3.2 地理信息系统

1. 地理信息系统的定义

地理信息是指表征地理系统诸要素的数量、质量、分布特征、相互联系和变化规律的数字、文字、图像和图形的总称。地理信息属于空间信息，具有多维结构特征和时序特征。

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)是以地理现象为研究对象，以地理空间信息数据库为基础，采用地理模型分析方法，适时提供多种空间的和动态的地理信息，为地理研究和地理决策服务的计算机技术系统。GIS从20世纪60年代开始迅速发展起来，是一种多学科交叉的研究体系，它由计算机系统、地理数据和用户组成，通过对地理数据的采集、存储、检索、操作和分析，生成并输出各种地理信息，从而为土地利用、资源管理、环境监测、交通运输、经济建设、城市规划、政府部门行政管理等提供新的知识，为工程设计和规划(包括无人机任务规划)、管理决策服务。随着人们对它的认识的不断加深，地理信息系统发展的主要方向是从二维向多维动态以及网络方向发展。其特征如下：

- (1) 具有采集、管理、分析和输出多种地理空间信息的能力，具有空间性和动态性。
- (2) 以地理研究和地理决策为目的，以地理模型方法为手段，具有区域空间分析、多要素综合分析和动态预测能力，能产生高层次的地理信息。
- (3) 由计算机系统支持进行空间地理数据管理，并由计算机程序模拟常规的或专门的地理分析方法，作用于空间数据，产生有用信息，完成人类难以完成的任务。

2. 地理信息系统的分类

对地理信息系统进行分类，在很大程度上是由用户不同的应用目标或任务要求决定的。通常按其内容可以分为3类。

1) 专题信息系统

专题信息系统是具有有限目标和专业特点的地理信息系统，它以某个专业、问题或对象为主要内容，为特定的专门目的服务。专题信息系统也是发展方向最多、应用最普遍的系



统,如森林动态监测信息系统、水资源管理信息系统、矿产资源信息系统、农作物估产信息系统、草场资源管理信息系统、水土流失信息系统等。

2) 区域地理信息系统

区域地理信息系统主要以区域综合研究和全面信息服务为目标,以某个地区为其研究和分析对象的系统。它可以有不同规模,如国家级的、地区或省级的、市或县级的,为不同级别的行政区服务;也可以按自然分区或以流域为单位。

3) 全国性综合系统

全国性综合系统是以一个国家为其研究和分析对象的系统,如日本的“国土信息系统”、加拿大的“国家地理信息系统”等,都是按全国统一标准、存储包括自然地理和社会经济要素的全面信息,为全国提供咨询服务。

3. 地理信息系统的工具和应用

地理信息系统的工具是一组具有图形图像数字化、存储管理、查询检索、分析运算和多种输出等基本功能的软件。它可以是专门设计研制的,也可以是从实用地理信息系统中抽出具体区域或专题的地理空间数据后得到的。它的特点是:对计算机硬件适应性强,数据管理和操作效率高,功能强,且具有普遍性并易于扩展,操作简便,容易掌握。

对于地理信息系统软件的研究应用有两种情况。一是利用地理信息系统来处理用户的数据;二是在地理信息系统的基础上,利用它的开发函数库二次开发出用户的专用地理信息系统软件,现已成功地应用到资源管理、自动制图、设施管理、城市和区域的规划、人口和商业管理、交通运输、石油和天然气、教育、军事九大类别的 100 多个领域。

地理信息系统的主要基础地理数据比例尺为 1:400 万、1:100 万、1:25 万、1:5 万、1:1 万、1:2000、1:1000 和 1:500 等。基础地理数据种类为数字线划图(DLG)、数字栅格图(DRG)、数字正射影像图(DOM)和数字高程模型(DEM)等。

5.3.3 数字地图

无人机在不同地区执行任务时,可能会遇到复杂的地理环境,传统的地图已经不能很好地满足实际任务规划的需要,数字地图的诞生和应用使得无人机任务规划更加合理、可靠。数字地图是在地理信息系统数据库的基础上制作的,而地理信息系统存储着大量的可随时更新的地形信息,为数字地图提供全面、准确的数据。

1. 数字地图的定义和优点

数字地图,也称为电子地图,是存储在计算机的硬盘等存储介质上的数字化地图,地图的内容是通过数字来表示的,需要通过专用的计算机软件对这些数字进行显示、读取、检索、分析、修改、喷绘等。在数字地图上可以表示的内容和信息量远远大于普通的常规地图。

早期的地图以纸张为载体,仅被用作导航图和飞行情报通告。传统的纸质地图在信息存储、可视、更新等方面存在局限性。数字地图可以非常方便地将各种普通地图或专业(专题)地图的内容进行任意形式的要素分层组合、拼接、增删等,形成新的实用地图。与传统纸质地图相比,数字地图具有如下优点:

- (1) 制作工艺先进,成本低,速度快,效益高。
- (2) 数字化存储,信息量大,可以在网上传输,便于携带。

- (3) 保存时间长,不易损坏和变形,节省档案保存空间。
- (4) 制图精度高,无介质变形,可以进行多种投影变换。
- (5) 数字信息可与多种空间信息拟合,便于更新、修编、组合,生成各种图。
- (6) 输出绘制方便,出版方便,复制方便,使用方便。

2. 数字地图的类型

数字地图的类型如下:

(1) 数字栅格图。地图被划分为若干个小栅格,每一个栅格代表一组数据,通过对栅格的数字分析,就能得出科学的结果。

(2) 数字高程模型。将地图做成以长、宽、高显示的三维地图,地图上每一个点都有自己的高程数据,可以了解到地形、地貌。

(3) 数字正射影像图。航测成图可以直观地表现地形、地貌。

(4) 数字线划图。依据《测量规范》和地形图图式进行测绘的全要素图。

3. 数字地图在无人机任务规划中的作用

数字地图在无人机任务规划的各个环节中都起到至关重要的作用。无人机在制导、定位、侦察、导航、链路规划等环节中都离不开数字地图的支持,当无人机需要进行任务的在线自主重规划时,也离不开机载数字地图的支持。

在无人机任务规划工作中,航迹规划是核心任务,即通过自动或人工的方式对无人机的航迹进行设计与调整。自动航迹规划实质是依据地理信息数据的最优航迹解算,人工规划则是直观的图上作业,整个规划过程都是在数字地图的支持下实施的。

无人机航迹规划的一个重要内容就是避开威胁,而敌方警戒雷达和防空火力则是威胁中的重点。计算由于地形遮蔽形成的敌方雷达盲区,从中寻找突防的安全通道,是航迹规划的一项重要任务,而开展这项工作的基础则是数字地图的数字高程模型数据。航迹规划的另一项重要内容是航迹剖面高度分析,实质是一种地形威胁冲突的检测,在正确解算航迹坐标信息的基础上,判断所规划航迹的飞行高度和地面之间是否保持一定的安全度,这对任务规划结果的安全性评估具有重要的作用,开展这项工作的基础也是数字高程模型。

任务规划工作完成后,还要进行另一项必要的内容,就是以数字地图为基础对规划的结果进行仿真推演,从而直观验证其是否可行。采用虚拟现实技术可以生成一种逼真的虚拟地理环境,指挥人员可身临其境地研究和判断任务规划工作的结果。这是一种全新的数字地图应用形式。

数字地图应用于无人机任务规划,具有以下特点:

(1) 灵活性。数字地图以地形数据库为后盾,可以随时根据需要将不同地区的信息转化成相应的电子地图。

(2) 选择性。数字地图可以提供远超传统地图的内容供用户选择使用。

(3) 实时性。从卫星上获取数据,可以及时更新数字地图信息。

(4) 动态性。数字地图可将不同时期的数据存储起来,并在电子地图上按时序再现,这样便于进行深入的分析 and 预测。

(5) 共享性。数字地图以数字形式表示地图信息,为信息传输和共享提供了方便。



5.4 无人机地面控制站的基本概念

无人机的飞行和使用是作为一个系统来进行的,其中无人机任务规划和控制站是整个无人机系统的“神经中枢”,无人机在空中飞行时离不开地面控制站的支持。现代无人机虽然已经具有很强的智能自主控制能力,但在执行飞行任务过程中,地面操作人员仍然拥有操纵控制它的最终决定权。任务规划和控制站控制着无人机的飞行过程、飞行轨迹、有效载荷、通信数据链路以及无人机的发射与回收等。

5.4.1 无人机地面控制站的定义和功能要求

1. 无人机地面控制站的定义

无人机控制站既是无人机系统的飞行操控中心,负责实现人机交互,也是无人机任务规划中心,所以全称为任务规划和控制站(Mission Planning and Control Station,MPCS),起到无人机系统的指挥与调度的作用。

从功能结构上看,无人机控制站可分为两部分:一部分是任务规划,另一部分是控制站。由于无人机规划功能可以与控制站功能分开在不同的地点执行,因此无人机任务规划和控制站有时也被称作地面控制站(Ground Control Station,GCS)。不过,在无人机飞行执行任务期间实时更改任务规划的能力是必不可少的,以此来适应不断变化的实际情况,所以地面控制站应能提供一定的规划能力。

无人机控制站通常是地面的(GCS)或舰载的(SCS),也可能是机载的(ACS,控制站位于母机上)。控制站工作于遥控遥测系统之上,负责全面监视、控制和指挥无人机系统的工作,使地面操作人员(驾驶员)了解无人机状态、态势,监控、指挥无人机完成任务,并在发生意外或无人机出现故障时为地面操作人员(驾驶员)提供干预手段。

2. 无人机地面控制站的功能要求

在无人机飞行过程中,地面控制站内的操作人员需要随时了解无人机的飞行状态,必要时还需要操控、调整无人机的飞行姿态和航线,及时处理飞行中遇到的特殊情况,以及通过数据链路操控无人机上的任务载荷等,为此,无人机地面控制站应具有以下功能:

(1) 无人机飞行状态的显示和控制。在机载传感器获得相应的无人机飞行状态信息后,通过数据链路将这些数据以预定义的格式传输到地面控制站。在地面控制站由计算机处理这些信息,并显示无人机的即时飞行状态,根据控制律解算出控制要求,形成控制指令和控制参数,再通过数据链路将控制指令和控制参数传输到无人机上的飞行控制系统,通过后者实现对无人机的操控。

(2) 任务载荷状态显示和控制。任务载荷是无人机飞行任务的执行单元。地面控制站根据任务要求实现对任务载荷的控制,并通过对任务载荷状态的显示来实现对任务执行情况的监管,对无人机获取的图像数据进行分发和存储。必要时地面操作人员也可以操作无人机在全球任意一个机场进行起飞和降落。

(3) 任务规划及航迹地图显示。任务规划主要包括处理战术信息、研究任务区域地图、标定飞行路线及向地面操作人员提供规划数据等。无人机位置监控及航线的地图显示部分主要便于操作人员实时地监控无人机及航迹的状态。

(4) 导航和目标定位。无人机在执行任务过程中通过无线数据链路与地面控制站保持联系。在遇到特殊情况时,需要地面控制站对其实现导航控制,使无人机按照安全的路线飞行。目标定位是指无人机发送给地面的方位角、高度及距离数据需要附加时间标注,以便这些量可与正确的无人机瞬时位置数据相结合,以实现目标位置的精确计算。

(5) 与其他子系统的通信链路。地面控制站的通信链路用于指挥、控制和分发无人机收集的信息,实现数据共享。在无人机飞行执行任务期间,所有分布在不同地方的人可以实时进行交流和协调。通过相关专业的人员对共享数据进行多层次的分析,及时地提出反馈意见,再由现场指挥人员根据这些意见,对预先规划的任务立即做出修改,从而能充分利用更多的人力资源,使得地面控制站的工作更加有效。

(6) 兼容性和扩展性。地面控制站不仅能控制同一型号的无人机群,还能控制不同型号无人机的联合机群。不必进行现有系统的重新设计和更换就可以在地面控制站中通过增加新的功能模块实现功能扩展。

(7) 通用性和互换性。地面控制站硬件和软件模块要求标准化设计,具有通用性和互换性,相同的硬件和软件模块可适用于不同的地面控制站,以确保地面控制站具有良好的维护性。

5.4.2 无人机地面控制站系统的组成

1. 无人机地面控制站系统硬件结构

典型的无人机地面控制站系统由一个或多个控制座席和辅助设备组成。控制座席主要包括飞行控制席、任务控制席、信息处理席、链路监控席,辅助设备主要包括方舱及底盘、地面供电设备、飞行监控设备等,如图 5-6 所示。

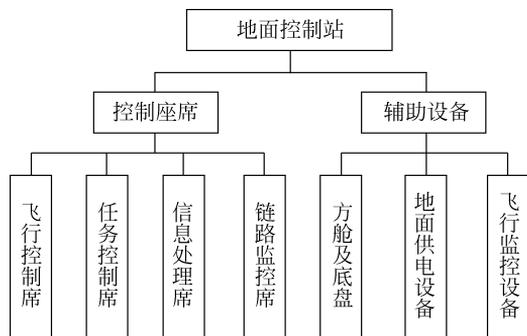


图 5-6 无人机地面控制站系统硬件结构

各控制座席的功能如下:

(1) 飞行控制席。主要完成对飞行器的控制、飞行器状态的显示、飞行中三维视景的显示等。

(2) 任务控制席。主要显示任务设备的图像数据和任务平台状态数据,并完成对各种载荷的控制。

(3) 信息处理席。负责侦察情报生成、毁伤评估等情报信息的接收和转发,以及图像和遥测数据的分发。

(4) 链路监控席。主要完成无线数据通信链路的监控、遥控数据的发送以及遥测数据和图像信息的接收等。

各辅助设备的功能如下

- (1) 方舱及底盘。为地面控制站提供机动运输平台,安装在运输车辆上。
- (2) 地面供电设备。在没有市电时通过发电机组为地面控制站提供电力。
- (3) 飞行监控设备。主要对操作人员的操作进行音频和视频记录。

2. 无人机地面控制站系统软件组成

无人机地面控制站系统软件组成如图 5-7 所示。各软件功能如下:

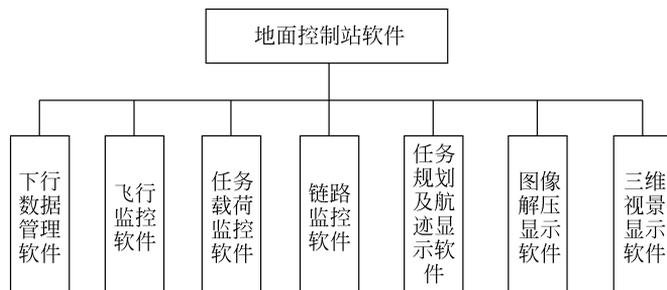


图 5-7 地面控制站系统软件组成

(1) 下行数据管理软件。主要功能包括接收、存储、分发和回放下行数据(含图像信息、遥测数据)、数据源码的显示、图像和遥测数据的分离等。

(2) 飞行监控软件。主要功能是:通过软件界面、硬件面板/按钮采集数据,形成上行飞行控制指令,并接收来自链路监控软件、任务载荷监控软件、任务规划和航迹显示软件的上行链路、载荷、航线控制指令,形成上行控制命令,发送给链路地面设备,通过数据链路完成无人机的控制;接收来自下行数据管理软件的遥测参数,并进行解码,显示无人机飞行平台机载设备状态参数;遥控、遥测源码显示、存储与回放。

(3) 任务载荷监控软件。主要功能是:通过软件界面、硬件面板/按钮采集数据形成上行载荷指令,发送给飞行监控软件,由飞行监控软件进行指令复接,形成上行遥控指令,发送给链路地面设备,通过数据链路完成无人机载荷的控制;接收来自下行数据管理软件的遥测参数,并进行解码,显示无人机飞行平台任务载荷状态参数。

(4) 链路监控软件。主要功能是:通过软件界面、硬件面板/按钮采集数据形成上行链路指令(主要包括频道切换、功率切换、码速度切换等),发送给飞行监控软件,由飞行监控软件进行指令复接,形成上行遥控指令,发送给链路地面设备,通过数据链完成机载链路的控制;接收来自下行数据管理软件的遥测参数,并进行解码,显示无人机飞行平台机载链路状态参数;对链路地面设备进行控制和状态监控。

(5) 任务规划及航迹显示软件。主要功能是:数字地图背景显示(移动、漫游、缩放等功能);接收来自下行数据管理的无人机位置数据,在数字地图上显示;完成起飞、着陆、航线和一般飞行航线、航点修改、地图上航点生成;可以根据飞行任务要求,在地图上手动或者自动完成航线规划。

(6) 图像解压显示软件。主要负责实现对接收的光电图像、红外图像、合成孔径雷达(SAR)图像进行解压显示,通过目标框可以对感兴趣的目标实施跟踪。

(7) 三维视景显示软件。主要功能是:对无人机的飞行区域进行场景建模,通过无人机的位置和姿态数据,驱动三维场景,完成无人机在三维场景下的显示;利用不同视角对无人机的三维姿态进行虚拟、逼真展示。

5.5 无人机地面控制站的分类、配置和转移运输

地面控制站是无人机系统的人机接口。它可能是区域无人机系统的简单控制中心,主要完成任务预规划和执行;也可能是较大系统的一部分,或系统中的系统,作为网络中心系统的某些分系统,与其共享信息或接收来自其他大系统中的子系统的信息。

5.5.1 无人机地面控制站的分类

无人机地面控制站按使用功能和部署情况可以分为基地级(固定式)、移动方舱式(机动式)及小型(便携式)3种。

1. 基地级地面控制站

无人机基地级地面控制站是一种大型固定式地面控制站,一般设置在基地指挥中心,指挥控制和链路设备放置在固定的建筑物内。固定地面控制站功能强大,通过使用不同的指挥控制平台或者调用不同的软件系统,可以完成对多类、多架无人机的同时指挥控制和信息处理功能。由于固定式地面站与无人机距离往往比较远,一般通过卫星数据链路和无人机进行通信。固定式地面控制站一般用于无人机巡航段和任务区的指挥控制。

2. 移动方舱式地面控制站

移动方舱式地面控制站也称为机动式控制站,一般部署在前沿阵地、机场周边或舰船上,其作用是临时性地完成对无人机的指挥控制。机动式控制站一般采用标准方舱结构,如图5-8所示,可以加载于汽车底盘进行公路运输,也可以采用铁路或者飞机进行快速机动。机动式控制站采用视距数据链路或者视距和卫通数据链路和无人机通信,一般用于无人机起飞和降落阶段的指挥控制。移动方舱式控制站通常包括车载控制站、舰载控制站和机载控制站等。

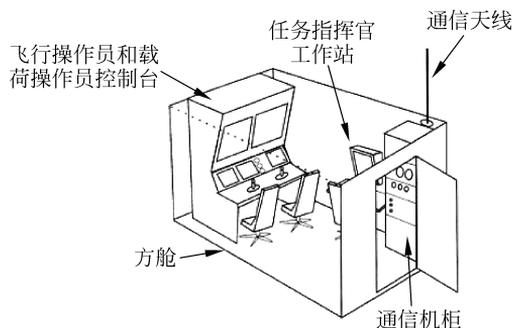


图 5-8 无人机移动方舱式地面控制站结构

1) 车载控制站

车载控制站就是将地面指挥与控制站的设备安装在车辆或拖车上,由车辆的运动来实现控制站的机动性。若需要操控人员工作较长的时间,控制站需要提供更大的活动空间和更高级的系统操作界面。另外,对于较复杂的机载任务载荷,有可能需要额外的操作人员,还需要一个专业的图像编辑员和一个系统指挥员,其中指挥员负责全面指挥,发挥综合作用。因此,根据需要应该配备足够的控制台座席,并能保持信息的高效交互。



2) 舰载控制站

无人机容易在舰船上起飞与降落,所以更适合小型舰船使用,例如海军无人机任务就可以由舰载无人机系统完成。舰载无人机可以由舰载控制站操纵起飞、任务飞行与返航降落,也可以由陆地起飞,然后由舰载控制站接管控制无人机完成任务。在两种情况中,无人机系统将完全或部分地由舰载控制站控制,并由舰船提供电力。将无人机系统天线与舰船上的无线电、雷达天线集成在一起,需要考虑很多的设计因素。舰船上配备的控制站通常会利用与地面控制站相同的硬件与软件功能模块,而保障设备则可能存在差异。

3) 机载控制站

机载控制站支持从有人驾驶的空中平台对无人机实施控制,是提高无人机自主性的一大发展趋势。对于采用机载平台控制无人机,目前机载控制站的开发已经到了后勤和实用性评估的阶段。无人机可以由人完全控制,也可以先从地面或舰船上起飞,然后交由有人驾驶的固定翼飞机或旋翼飞行器接管对它的控制。

3. 小型地面控制站

无人机小型地面控制站一般采用背负式结构,配备小型的加固计算机或触摸屏便携机,通常集成图形化用户界面,使操控人员能方便地输入以地图为基础的航路点,并能设置常用的按键。通过连接无线数据通信链路的地面端,并安装地面控制站软件,可以实现对小型无人机的指挥控制,如图 5-9 所示。由于它体积小,结构简单,一般采用视距数据链路实现与无人机的通信。

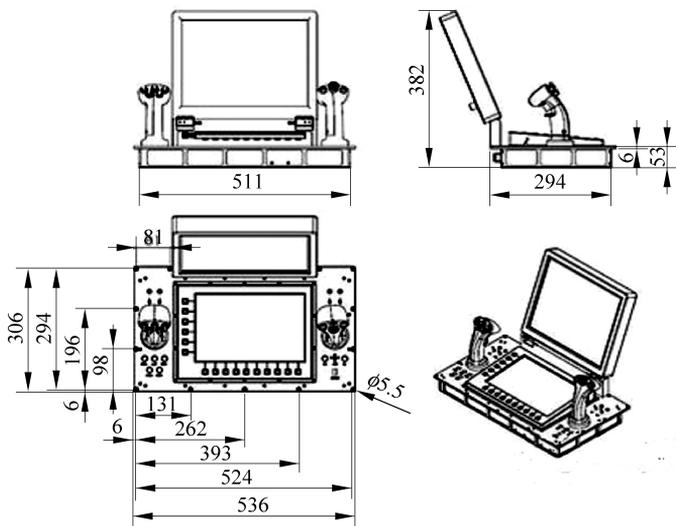


图 5-9 无人机小型便携式地面控制站

无人机小型便携式地面控制站的另一种可选设备是远程视频终端。它可与地面控制站并行工作,也采用背负式结构,接收并显示来自无人机的图像,也可以让前线的作战单元接收来自无人机的图像。

5.5.2 无人机地面控制站配置和转移运输

地面控制站作为整个无人机系统的作战指挥中心,其控制内容包括无人机的飞行过程、

飞行航迹、有效载荷的任务功能、通信链路的正常工作以及无人机的发射和回收。无人机地面控制站除了完成基本的飞行与任务控制功能外,同时也要求能够灵活地克服各种未知的自然与人为因素的不利影响,适应各种复杂的环境,保证全系统整体功能的成功实现。

1. 发射回收单元

无人机基地级地面控制站分为任务控制组地面站与发射回收地面站两个执行单元,其中任务控制组地面站是主角,具有包括任务规划、数字地图、卫星数据链路、图像处理能力在内的,集控制、通信、处理于一体的综合能力;发射回收地面站只负责无人机起飞和降落阶段的地面控制。

任务控制组地面站一般部署在远离无人机飞行工作区域的“大后方”基地,只有发射回收地面站会和无人机一起部署在前沿地区。在无人机起飞、返回进场与降落阶段,当视距内数据链路建立起来并工作稳定之后,“远在天边”的任务控制组地面站就会将无人机的控制权交给位于前沿的发射回收地面站,由发射回收地面站的操控人员在现场负责无人机的起飞和降落。图 5-10 为美国“全球鹰”无人机的发射回收地面站执行单元的工作场景,有两名操控人员在现场工作。

对于小型地面控制站,很少采用任务控制组地面站与发射回收地面站分开的形式。

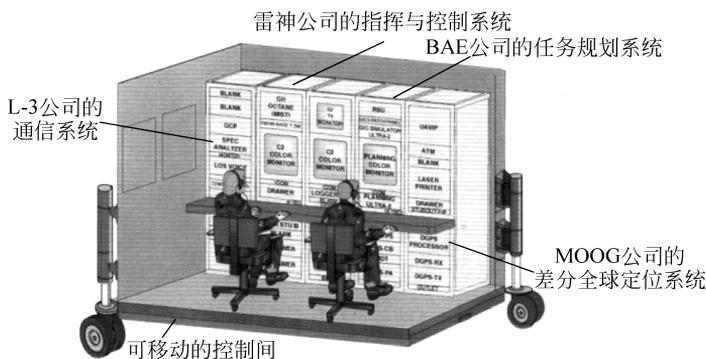


图 5-10 “全球鹰”无人机的发射回收地面站执行单元的工作场景

2. 任务控制单元

任务控制组地面站的作用是控制无人机在执行任务中的飞行姿势和机载设备的使用。无人机在飞行执行任务阶段,位于任务控制组地面站的飞行控制操作人员和图像感应器操作人员等多人共处一室,共同工作,协调合作,操控无人机飞行,使用机载感应器开展侦察活动,利用视距内和超视距数据链路进行通信。如果有任务需求,任务控制组地面站的飞行操作人员也可以操控无人机在全球任意一个机场起飞和降落;机载感应器操作人员则可以操控机载感应器进行侦察,上传新的图像目标给无人机,监控无人机上各个感应器的运行状态,进行感应器校准,对无人机获取的图像数据进行分发和存储。

以美国“全球鹰”无人机为例,其任务控制单元采用低成本、低风险的商用货架高性能硬件来满足各类图像的处理要求,通常由 4 名操作员操控着 4 个工作站,包括指挥控制工作站、通信管理工作站、任务规划工作站和传感器数据与图像处理工作站,如图 5-11 所示。

(1) 指挥控制工作站。操作人员通过该工作站负责对“全球鹰”无人机飞行阶段的指挥控制,并且承担着与空中交通管制人员联系的职责。通过工作站显示器,操作人员能够实时

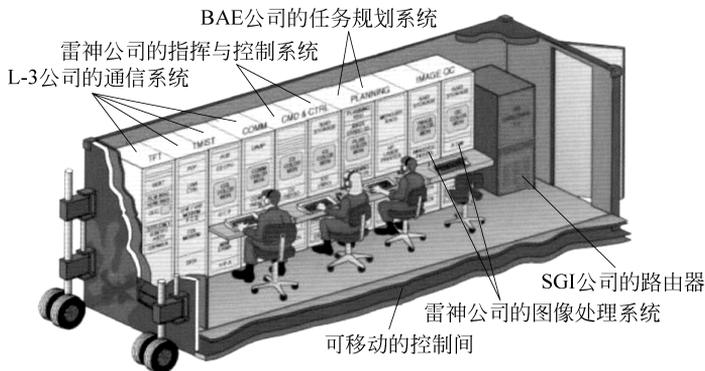


图 5-11 “全球鹰”无人机的任务控制组地面站执行单元的工作场景

了解无人机当前位置和飞行仪表读数,并能够同时对 3 架无人机的系统状态、任务情况、受威胁状态以及导航状态进行实时的监视和上传指令进行控制操作。操作人员可以根据任务计划的变化情况修改无人机的飞行航迹,能够及时响应空中交通管制人员的协作要求,快速反应,控制和改变无人机的航向、飞行高度和航速。此外,操作人员还可以管理无人机机载敌我识别系统与防御辅助系统。

(2) 通信管理工作站。该工作站由通信专业人员操作,负责管理系统所有的通信数据链路,监视和维护这些链路正常的工作状态等。通信专业人员负责构建和监视通信计划,在需要时进行再定向。任务控制组地面站的通信设备包括所有的地面接收和发射设备。在视距外操作时,任务控制组地面站通过按需分配多址(Demand Assigned Multiple Access, DAMA)卫星通信数据链与“全球鹰”无人机进行通信联系。

(3) 任务规划工作站。该工作站负责为“全球鹰”无人机生成一个完整的任务计划,包括导航计划、传感器计划、通信计划和分发计划。“全球鹰”无人机升空后,一般都是按照预先制定的任务计划飞行。在任务执行过程中,任务规划工作站可以进行动态的任务更新,以确保机载任务与突发任务保持一致。任务更新的内容涵盖了从传感器重新规划到包括飞行计划、传感器计划以及分发计划的整个任务的重新规划。

(4) 传感器数据与图像处理工作站。该工作站负责分析无人机机载传感器输出下传的信息,监视机载传感器的工作状态,对接收到的目标图像进行处理、存储和分发。该工作站可以通过分析传感器的数据来检查其工作性能,同时还可以选择目标图像进行快速评估。

3. 地面控制站的转移运输

无人机的地面控制站可以将各个执行单元分开部署在不同地理位置上使用。通常将发射回收单元部署在无人机的作战飞行地区,而任务控制单元则可留在司令部所在地或主作战基地。这是由于发射回收单元要负责控制无人机的起飞、着陆,因此通常它与无人机共同驻扎在前线基地;而任务控制单元的主要任务是在无人机执行飞行任务过程中提供指挥控制指令,以及接收和分发自无人机下行的传感器数据与图像,因此不必与无人机驻扎在一起。例如美国在阿富汗战争和伊拉克战争期间部署使用的“全球鹰”无人机,其任务控制单元部署在数千公里外的美国本土进行操控。发射回收单元与任务控制单元的主要区别是,前者不具有宽带数据链路通信能力以及下行传感器数据与图像处理能力,但它拥有一个差分全球定位系统(Differential GPS, DGPS),可以提供地面操作、起飞和着陆所需的精确导

航能力。

无人机作为现代战争中不可或缺的利器,为了应对战争形势的急剧变化,其地面控制站的整体结构必须采用模块化设计,具备快速装配和快速拆分的能力,以便在接到地面控制站设备转移命令时,能在较短的时间内完成拆分,并在到达新驻地后较快地完成重装。

以美国“全球鹰”无人机为例,它的地面控制站可做到在接到转移命令的24h内完成拆分,并在到达新驻地后24h内完成重装。表5-2列出了“全球鹰”无人机地面控制站的相关参数。

表 5-2 “全球鹰”无人机地面控制站的相关参数

| 参 数 | 任务控制单元 | 发射回收单元 |
|--------|--------------------------------|-------------------|
| 尺寸 | 2.44m×2.44m×7.32m | 2.44m×2.44m×3.05m |
| 操作员座席 | 指挥控制、通信管理、任务规划、传感器数据与图像处理(共4个) | 通信、任务规划(共2个) |
| 重量 | 7.5t | 4.6t |
| 单元空运重量 | 26.12t | 11.67t |

支持“全球鹰”无人机30天自主飞行作战部署所需的全套人员设备(包括地面站、飞机支持保障设备、支持人员以及维护支持配套工具)用3架C-141B运输机(图5-12)或2架C-17或1架C-5B运输机就可以完成装运。

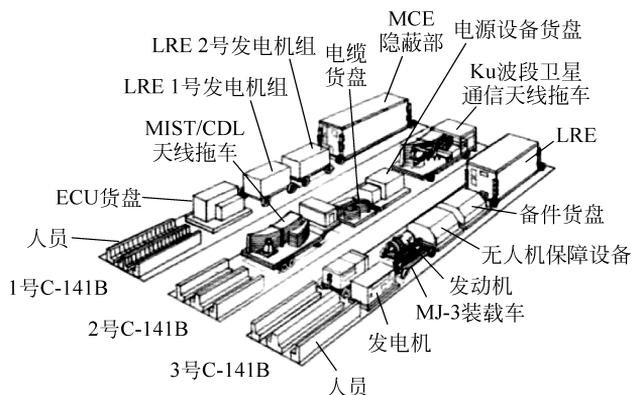


图 5-12 “全球鹰”无人机地面支持系统 C-141B 装运布局

思考题 5

1. 什么是任务规划和任务规划系统？任务规划系统的功能有哪些？
2. 什么是无人机的任务规划和任务规划系统？无人机任务规划系统的功能有哪些？
3. 简述无人机任务规划的基本流程和特点。
4. 简述动态规划算法的适用范围、求解的基本步骤和简化步骤。
5. 什么是带权图、有向图和路径？简述迪杰斯特拉算法原理。
6. 简单介绍蚁群优化算法和遗传算法。分别说明它们的原理。
7. 简单介绍合同网协议算法和黑板模型算法。分别说明它们的原理。
8. 什么是数字地球？说明数字地球的核心思想、体系的内容及其意义。



9. 什么是地理信息系统？说明其特征、分类、工具和应用。
10. 简述数字地图的定义、优点、类型及其在无人机任务规划中的作用。
11. 什么是无人机地面控制站？说明无人机地面控制站的功能要求。
12. 画出无人机地面控制站系统硬件结构和软件组成的示意图。
13. 无人机地面控制站有哪些类型？说明它们各自的特点。
14. 无人机基地级地面控制站分哪两个执行单元？
15. 无人机发射回收单元和任务控制单元各负责什么工作？战时它们部署在何处？
16. 美国“全球鹰”无人机的任务控制单元有几名操作员？他们各负责什么工作？