

基于系统控制管理的无人机无源定位

许伊昆¹ 曹庆哲¹ 高彦锋¹ 王小鹏¹ 千鸿哲¹

XU Yikun CAO Qingzhe GAO Yanfeng WANG Xiaopeng QIAN Hongzhe

摘要

军用无人作战飞机是近年来快速发展的一种载具平台,应用于其上的核心任务处理机系统控制管理(SCM)程序,随着其功能丰富性与复杂性的提升,使得飞机在实际作战的飞行控制与电子侦查方面的问题也逐渐凸显。因此,为了更好地保证作战飞机对敌机位置的确定,以SCM程序为核心的目标定位问题成为当下研究和探讨的热点话题之一,尤其是处理单机与多机不同场景下,如何保证飞机执行飞行任务的同时兼顾单机信息处理与多机信息共享和协同作战,是研究的重点。对此,提出一种基于SCM的无人机无源定位方案,通过SCM协调各系统资源,利用单机无源和多机协同不同方式的定位手段定位敌机,实现记录敌机信息的目的。在某型号任务系统的工程试验中验证了所提系统程序的可行性与稳定性,为无人机定位任务的研究与实现提供了有效方案。

关键词

系统控制管理;单机无源;协同探测;敌情获取;无人机

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.03.052

0 引言

由于兼容感知和规避能力较强,低成本且高效率的无人作战飞机(unmanned combat aerial vehicle, UCAV)在具有高对抗性的空域中取得优势,起着非常重要的作用^[1]。为了更好地减少飞行员的伤亡率,无人战机在电子对抗领域的侦察能力尤为关键,并需要进一步扩展到任务空间领域,以期成为未来空战中拥有自主协同能力的高精尖飞机。近年来针对无人机的目标定位问题引起了国内外众多学者的研究与讨论,而无源目标定位技术是国内外关注的重点问题^[2]。无人机平台的自定位和无人机对未知目标的目标定位问题成为近年来国内外研究的热点问题,而无源目标定位技术受到了国内外学者的高度重视^[3-4]。

传统无源定位技术依据单架或多架信息接收平台,对具有辐射源头的目标执行定位追踪,从而快速、准确地获取目标辐射源的位置与速度等信息。其中,单机平台的无源定位是持续向目标发起定位追踪,而多机平台的无源定位则是按照一定协同方式的约定同时或协调各架次向目标信号到达时间差或到达点执行探测与追踪。前者可以让战术储备更加丰富,但由于对目标定位的时长需要较久的数据积累且定位精度不利于快速定位高精度目标,在高强度电磁环境中容易受到较大干扰和影响,响应时间较长,从而很难满足复杂空战的预警要求;后者通过综合多个平台的探测与目标定位结果,比较分析空间差异后可较为准确地识别目标并方便后续

响应,相较于单机无源定位方式,在无人机的电子对抗性能、目标搜索与识别性能及后续作战处理性能等方面有优势^[5],方便整体任务的执行与完成,但是在调度各平台的复杂协同问题和资源占用率方面较为棘手。

航电系统中核心任务处理机(ICP)的SCM程序通过管控任务系统中其余分系统或软件资源完成数据转换、数据管理、维护故障管理和通信识别、自主决策、威胁规避等管理类与控制类功能,并完成诸如数据加载控制管理、地面控制处理、特情处置、设备工作模式及状态管理、火控及悬挂物控制管理、任务重规划、余油解算等一系列功能^[6-10],具备能有效地处理好涉及无源定位的传感器控制管理功能。如何在保证SCM程序正常处理和执行任务系统自身功能的同时,较好地协调定位探测功能用于无人机的作战飞行是当前研究的目标。因此,本文提出了一种涵盖单机无源定位和多机协同探测的系统控制管理程序与定位方案,从系统控制管理的角度设计出通用性和有效性较强的SCM程序,将核心任务处理机中的各个系统资源,尤其是涉及无源定位的电子支援分系统(ESM)和协同探测软件(CD)的数据流与控制流信息顺利且流畅地执行运转,满足任务系统功能乃至无人作战飞机的飞行要求。

1 系统控制管理架构下无源定位技术应用

1.1 系统控制管理程序架构与功能

SCM是组成ICP的重要部分,驻留在图像接口单元(GIOU模块)。在某实际工程项目中,该程序的基本状态分为初始化状态和正常运行状态,涉及初始化与版本注册功

1. 中国航空工业集团公司西安航空计算技术研究所
陕西西安 710065

能、地面控制命令处理、各设备工作状态综合及下传能处理、工作模式及状态管理、数据加载控制管理、任务系统特情处置、传感器控制管理和火控及悬挂物控制管理、任务重规划功能和余油解算功能。其主要状态及功能如图 1 所示。

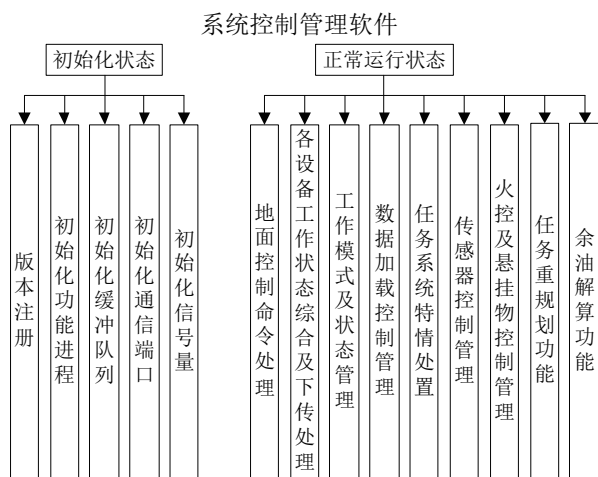


图 1 SCM 程序状态及功能图

为保证 SCM 程序与各组件间数据流传输的稳定性，要优先考虑各应用发送和接收信息的时间。在沈阳某无人机组的系统应用中，要求系统控制管理周期接收数据并发送的周期约为 100 ms，并且任务系统内部软件的执行时间不能超过该时间（如数据管理软件占用时间 10 ms）。根据此性能要求，设定 SCM 的周期处理时间为 100 ms。

作为整个任务的系统控制及状态综合中心，其外部接口均为 FC 总线消息，与 ICP 内部的数据转换及应急处理、维护与故障管理、数据管理、资源区级系统控制管理、悬挂物管理、火控解算引导、数据融合、自主决策、综合识别、威胁评估和协同探测（分别对应 DTE、MFM、IA、DM、IM、SMM、FCI、DF、AD、SI、TE 和 CD）等软件通过 FC 消息进行通信，与 ICP 外部的通信识别分系统、任务接口设备、目标识别设备、数据管理分系统、光电瞄准分系统和电子支援分系统（分别对应 CIS、MID、TRE、DMRS、OEAS 和 ESM）等分系统或设备通过 FC 消息进行通信。从地面控制站或依据加载的规划数据对其它软件及分系统进行控制，并将从其它软件及分系统收集的状态信息综合后回传给地面控制站，详见图 2。对于与 SCM 的无源定位技术相关的传感器控制管理功能，其它分系统指 ESM、CIS，软件指 CD、DF 等。通过 SCM 串联整个定位任务的各个分系统和软件资源来对目标进行定位探测，是本任务程序的核心。在此过程中，SCM 不依赖地面控制站和任务规划，只利用任务系统自身的组件信息对定位探测相关部分的功能进行自主控制。针对无源定位功能主要涉及的 ESM 和 CD，SCM 应支持其能从地面控制站、ESM 和 CD 接收控制指令以及依据加载的规划数据对 ESM 和 CD 进行控制命令转发，并将从 ESM 和 CD 收集的状态信息综合后回传给地面控制站与飞机综合控制设

备，详见图 3。

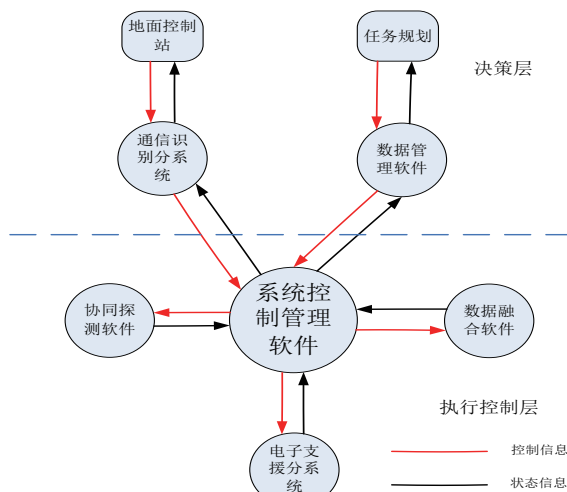


图 2 以系统控制管理程序为中心的信息流图

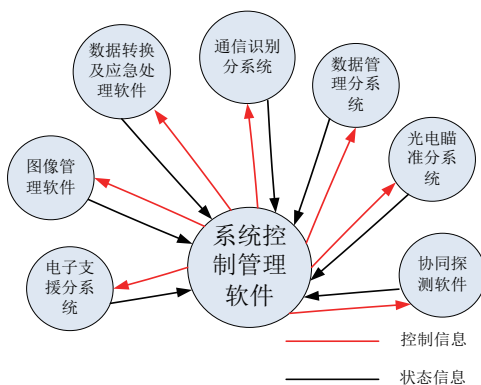


图 3 无源定位控制管理控制层次图

1.2 单机无源定位分析与流程设计

在应用单机无源定位方式时，地面站根据威胁评估结果（通过 CIS）或任务规划（通过 DM）对目标进行 ESM 精定位。ESM 的控制指令有两个来源：任务规划和地面控制站。其中程控/手动模式控制是 SCM 采用任务规划数据（程控）或者地面控制站数据（手动）对 ESM 进行控制的过程。前者是默认方式，此模式中，SCM 会根据转手动操作模式时（无时则按照任务规划）记录的航线/航点 ID，提取出对 ESM 的相应控制条件动作，并发送至 ESM，控制 ESM 进入手动之前的程控动作，之后 SCM 依据任务规划中航路点属性信息生成控制指令的逻辑执行，并将程控状态回传地面站；后者需要地面控制站发送控制命令后，SCM 记录此时 ESM 执行条件动作的航线/航点 ID，并进入对 ESM 的“手动”控制模式，对 ESM 的所有控制按照地面控制站操作员的操作指令执行，并将手动操作状态回传地面控制站。在手动控制过程中，SCM 还需继续按飞管发送的航线航点读取任务规划数据，并更新有 ESM 控制动作的航线/航点 ID。地面操作员还可控制 ESM 记录定位目标的中频数据，待无人机返航后，使用情报设备解析记录的中频数据，以获取更精确的敌雷达

情报信息。

单机作战时无源定位的流程处理如下。

步骤 a: SCM 通过 CIS 接收地面控制站触发的定位类型及定位目标编批号相关信息,在判断定位类型为单机后不再停止定位。此时目标属性不明,SCM 根据地面站上报的融合定位目标编批号信息索引到对应的 ESM 自身编批的目标 ID 编号,将该 ID 号转发至 ESM 的对应目标批号位置。

步骤 b: ESM 收到定位类型和目标批号指令后,对指定目标执行单机无源定位,并将工作状态和定位目标编批号上报 SCM。

步骤 c: SCM 收到定位类型和定位目标编批号信息后,将 ESM 定位目标编批号转换为融合后的定位目标编批号转发给 CIS,用于地面控制站显示。

步骤 d: ESM 定位完成后,将定位目标的定位类型、定位结果以及目标编批号上报 SCM,并将威胁目标信息上传 ICP 的 DF,融合输出后发送至 SCM,由 SCM 进行数据组包并下传地面控制站。

步骤 e: SCM 收到相应状态信息(定位类型、定位目标编批号和定位结果信息等)之后,转发给 CIS,用于地面控制站显示,其中要将 ESM 定位目标编批号转换为融合后的定位目标编批号。并且 SCM 通过 DF 接收到威胁目标信息之后进行数据组包下传地面控制站。

ESM 停止对指定目标的单机无源定位有两种方式。一是 ESM 从开启指定目标的“单机无源定位”开始计时,B2 频段计时 150 s,B34 频段计时 30 s,计时结束后自动停止对当前目标的单机无源定位,并将定位状态信息上报 SCM;二是地面站触发停止定位,SCM 收到地面站触发的“停止”定位指令以及对应目标的编批号且有效后停止定位。此时目标属性仍为不明,SCM 根据地面站上报的融合后的定位目标编批号相关信息索引到对应的 ESM 自身编批的目标 ID 编号,并将该 ID 号转发至 ESM 的对应目标编批号位置。ESM 收到指令之后,则终止对指定目标的定位,并将定位状态上报 SCM,由 SCM 再上报地面站。当 ESM 收到“双机”或“三机”定位模式控制指令时,退出单机无源定位工作模式。

1.3 多机协同探测分析与流程设计

当 ESM 退出单机定位模式时,执行多机协同探测方式。此时,SCM 对 CD 的控制管理与对 ESM 的模式相似,地面操作员同样可根据威胁评估的结果或者任务规划对感兴趣的目标发起协同探测的过程。与单机无源定位方式不同的是,多机协同探测过程中参与定位的无人机需要知道本机身份(主站/从站 1/从站 2),从站 ESM 需要知道信号的特征参数(如目标编号/批号(主站)、目标运动属性、方位/方位方差、俯仰/俯仰方差、幅度、识别结果、辐射源标识、电磁特征参数标识、频率、重复周期、脉宽、脉内参数等),便于从站 ESM 快速锁定目标。并且多机需要考虑无人机协同的形式和实现功能的信息处理。这一过程分为两个阶段:第一阶段,

通过“1 带 1”的形式实现态势共享(不含图像回传和电子脉冲描述字回传)、状态监视、预知目标攻击(非光电定位方式)、指定区域等待功能;第二阶段,通过“1 控多”的形式实现态势共享、状态监控、预知目标攻击(非光电定位方式)、指定区域等待、支援干扰、应急处置、控制权变更等功能。其中,平台状态共享和目标信息传输是协同的主要考虑因素,是影响目标探测及后续攻击相关的重要功能。该功能主要需要考虑通信编队和组网平台的形式和建立。

多机协同可设置在地面站控制协同探测和自主协同探测两种模式,其中,地面站控制协同探测模式是地面站控制编队飞机 CD 处于自主权限授权允许/禁止模式时,地面站生成协同探测指令,并上传至任务长机,即任务长机的 CD 在地面站的自主权限授权控制下,可工作在禁止、允许两种模式下生成编队的 ESM 进行双机/多机无源协同探测指令,实现对威胁雷达辐射源目标的定位。其中自主权限授权包含:

(1) CD 初始化完成后,默认转入自主权限授权禁止状态并上报;(2) SCM 接收地面操作员的控制指令,并发送至 CD;(3) CD 接收控制响应并上报状态。

地面站控制协同探测模式的流程处理如下,

步骤 a: 任务长机 SCM 接收地面操作员的控制指令,并发送至本机 CD;任务长机 CD 根据目标的特征、目标与编队的相对位置关系及编队组网信息等生成协同探测策略,将协同探测控制指令和策略发送至 SCM,SCM 生成机间链格式转发至 CIS。

步骤 b: 任务僚机 CIS 收到机间链传输的机间交互信息转发至 SCM,任务僚机 SCM 收到 CIS 来的机间交互信息转换为协同探测指令发送至本机 CD。

步骤 c: 任务长机和任务僚机按照本机协同探测角色生成本机协同定位控制指令至 SCM;SCM 收到本机协同定位控制指令时将指令转发至 ESM,同时依据定位类型(双机/三机/协同停止)和本机角色(主/从 1/从 2)生成 ESM 协同通信模式设置相关指令至 CIS,CIS 转入/退出协同通信模式。

步骤 d: 如果本机协同定位控制指令定位类型为双机/三机,则进入协同探测模式。(1)主站 ESM 根据本机协同定位控制指令完成侦察资源调度,提取目标雷达信号通过点对点光纤发送至 CIS,CIS 通过机间链转发至从站;(2)从站 ESM 通过与 CIS 之间的点对点光纤总线接收主站通过机间链发送的目标信号样本,完成侦察资源调度和参数提取;

(3)从站 ESM 将提取目标参数经机间链发送至主站飞机,由主站完成定位解算并送至 CD 进行定位数据管理,并发送至 DF 进行态势融合。

步骤 e: 如果本机协同定位控制指令定位类型为停止协同,则停止协同探测模式。

步骤 f: 任务长机 CD 上报工作状态。

自主协同探测模式是地面站控制编队飞机 CD 处于自主

权限授权允许模式时,长机 CD 根据数据融合输出的辐射目标的特征、目标与编队的相对位置关系、探测精度需求及编队飞机的阵型、航线、组网状态等生成协同探测策略。与地面站控制模式的不同点在于此模式下任务长机 CD 根据目标的特征、目标与编队的相对位置关系及编队组网信息等生成协同探测策略,将协同探测控制指令和策略发送至 SC,SCM 生成机间链格式转发至 CIS;后续流程处理同地面站控制协同探测模式的步骤 b~步骤 f。

2 程序方案实现

在嵌入式编译环境下完成 SCM 在图 1 中自身描述的各项程序功能条目的基础上,即可实现单机无源定位和多机协同探测的流程与功能。目前研制的沈阳某型号无人机项目试验中,已按图 3 的控制流层次与本文提及的无源定位设计流程完成了该 SCM,形成了单机平台和多机协同的多种方式结合的无人机定位侦察功能应用。将单机独立模式下的定位任务用于精度要求一般、响应时间要求不高的空中作战环境下;将多机协同模式下的探测任务置于环境复杂、精度要求较高且响应速度要求较快的飞行任务中,必要时在两种模式下控制转换再使用。在系统要求的周期或事件内由 SCM 自主进行控制和转发,配合 ICP 内外部系统软件。分系统和设备完成状态切换和定位等任务的顺利执行。

按照项目要求,经过系统部现场联试,按照本文流程方案实现的 SCM,能较为稳定地在规定周期内与电子支援分系统和协同探测软件准确完成数据流与控制流的传输与处理。在保证系统安全性和适应性的基础上执行单机无源定位和多机协同探测,并为后续进行任务重规划和目标攻击提供必要条件,其对目标锁定的要求需要体现在具体的目标攻击方案传输和攻击引导解算并执行攻击上,目前已经在国内通用指定空域环境的目标打击上顺利进行,能较好地体现该 SCM 的可靠性和执行力。

考虑到 SCM 中任务进程较多、数据传输和控制管理情况较为复杂的情况,试验针对不同位置、不同数量的目标,对单机和多机情况下的定位探测时间做记录测试。在测试方案中,记录不同条件下目标定位流程的完成度及(精度要求一定)。从试验结果可获悉,随着目标数目增多和目标位置的变远,单机和多机定位完成度不一致,单机无源定位在精度要求较高且距离较远情况下对多目标的识别难以实现,而多机协同探测方式可以完成,但流程完成的时间较长。不过诸如其余因素,如高温、高寒、目标反定位能力等元素的测试不在当前考虑范围内,故并未在具体试验中测试此类情况的结果。

3 结语

无人作战飞机中涉及电子侦察的信息获取,一直是飞行作战任务中的重要一环。就军用无人机的敌机定位而言,定

位方法的有效性和多样性备受关注。本文对 ICP 系统控制管理程序在侦察任务中的功能要求进行设计,从无源定位的角度出发,对单机和多机两种方式在 SCM 的具体实现进行方案流程设计,通过 SCM 主控多分系统资源,以单机无源定位和多机协同探测分别处理数据信息,形成一套有完整定位功能的 SCM 的模块组件,在某型号无人作战机上试验并成功验证该功能应用,并且不影响该系统其余基本程序功能,体现了良好的交互性和可行性,并在程序稳定性和有效性上发挥出良好效果。本文也有验证不充分的地方,比如以下问题仍需深入研究:是否可以深入单机或多机某一种方式中进一步探索,提高定位效果的精度;是否可以考虑多种复杂情况下敌机信息的获取,增加反定位方法的设置,进一步完善 SCM 的性能;无人机飞行时的编队阵型方案如何安排,以达到最优控制协调作战等。对于目前存在的各种提升程序的问题与解决方案,后续会持续关注并不断优化,以便构建更加合理的飞行方案与程序。

参考文献:

- [1] 车继波.人工智能在无人作战飞机上的应用与展望[J].电子技术,2018,58(7):859-864.
- [2] ZHU S, WANG D, LOW C B. Cooperative control of multiple UAVs for moving source seeking[J]. Journal of intelligent & robotic systems: theory & application, 2014, 74(1/2):333-346.
- [3] KWON H, PACK D J. A robust mobile target localization method for cooperative unmanned aerial vehicles using sensor fusion quality[C]//International Conference on Unmanned Aircraft Systems. Dordrecht: Springer, 2012:479-493.
- [4] 张兴如.无源定位及其定位性能的分析[D].成都:电子科技大学,2024.
- [5] POISEL RICHARD A. 电子战目标定位方法[M].北京:电子工业出版社,2008.
- [6] 崔西宁,叶宏,张亚棣,等.基于 GSM 技术的 AICPS 容错重构与安全管理研究[J].微电子学与计算机,2007,24(6):104-108.
- [7] 曹庆哲,杨威,王小鹏,等.核心任务处理机系统管理软件的设计与实现[J].信息技术与信息化,2023(2):126-128.
- [8] 千鸿哲,杨威,董凯.综合化航电任务系统故障管理软件设计与实现[J].电脑编程技巧与维护,2022(4):42-44.
- [9] 千鸿哲,董凯,曹庆哲.综合化航电系统数据管理软件设计与实现[J].电脑编程技巧与维护,2022(5):103-106.
- [10] 李姍,杨威,郭勇,等.机载任务系统的故障管理应用设计[J].电脑编程技巧与维护,2022(2):167-169.

【作者简介】

许伊昆(1996—),男,陕西西安人,硕士,助理工程师,研究方向:机载嵌入式软件开发等。

(收稿日期:2024-02-09)