

ICS 35.240.01

CCS L70

T/CICC

中国指挥与控制学会团体标准

T/CICC 02006—2025

无人系统协同感知、决策与控制  
运动控制

Collaborative awareness, decision-making, and control for  
unmanned systems—Action control

2025-09-29发布

2025-09-29实施

中国指挥与控制学会 发布



## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 运动控制 .....	1
4.1 总体流程 .....	1
4.2 标称控制 .....	2
4.3 抗不确定性增强控制 .....	2
4.4 安全控制 .....	3
4.4.1 运行状态监测 .....	3
4.4.2 故障恢复 .....	4

## 前 言

本文件按照 GB/ T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国指挥与控制学会提出。

本文件由中国指挥与控制学会归口。

本文件起草单位：杭州市滨江区浙工大人工智能创新研究院、湛江科技学院、衢州东南飞视科技有限公司、浙江工业大学、杭州数字智汇科技发展有限责任公司、最终序列（上海）科技有限公司、杭州翔云智空科技有限公司、东南大学、北京理工大学、南京信息工程大学、河南科技大学、珠海紫燕无人飞行器有限公司。

本文件主要起草人：宣琦、朱俊威、金青松、张广奎、吴宁、吴凯乐、俞山青、陈壮志、司光振、潘磊、赵尚上、张剑、殷晓晗、高敬智、来静、顾华江、温广辉、赵丹、周佳玲、吕跃祖、葛泉波、刘欢、宋晓娜、宋帅、王江平、李钊、梅燊文。

# 无人系统协同感知、决策与控制 运动控制

## 1 范围

本文件规定了无人系统协同感知、决策与控制运动控制的技术要求、流程和关键模块。涵盖标称控制、抗不确定性增强控制以及安全控制的设计与实现方法。

本文件适用于无人系统协同感知、决策与控制运动控制的研制、开发、测试和应用，可为系统设计、算法优化及性能验证提供统一的依据与规范。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

T/CICC 02001-2025	无人系统协同感知、决策与控制 术语
T/CICC 02002-2025	无人系统协同感知、决策与控制 总体架构
T/CICC 02003-2025	无人系统协同感知、决策与控制 态势感知
T/CICC 02004-2025	无人系统协同感知、决策与控制 智能决策
T/CICC 02005-2025	无人系统协同感知、决策与控制 自主规划

## 3 术语和定义

T/CICC 02001-2025界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 态势感知

### 4.1 总体流程

无人系统运动控制的总体流程通过标称控制、抗不确定性增强控制以及安全控制实现任务高效执行与系统稳定性。标称控制包括轨迹跟踪控制、姿态稳定控制和任务动作时序控制，确保无人系统在正常工况下能够准确完成任务动作。抗不确定性增强控制包括鲁棒控制、容错控制和容侵控制，用于应对环境干扰、参数不确定性及潜在攻击。安全控制涵盖运行状态监测（位姿估计、异常检测）和故障恢复（能源管理、网络策略优化），通过实时监测与动态调整提升任务连续性和系统稳定性。以上模块闭环迭代，保障无人系统在复杂对抗环境中的鲁棒性与任务成功率。无人系统运动控制总体框架见图 1。

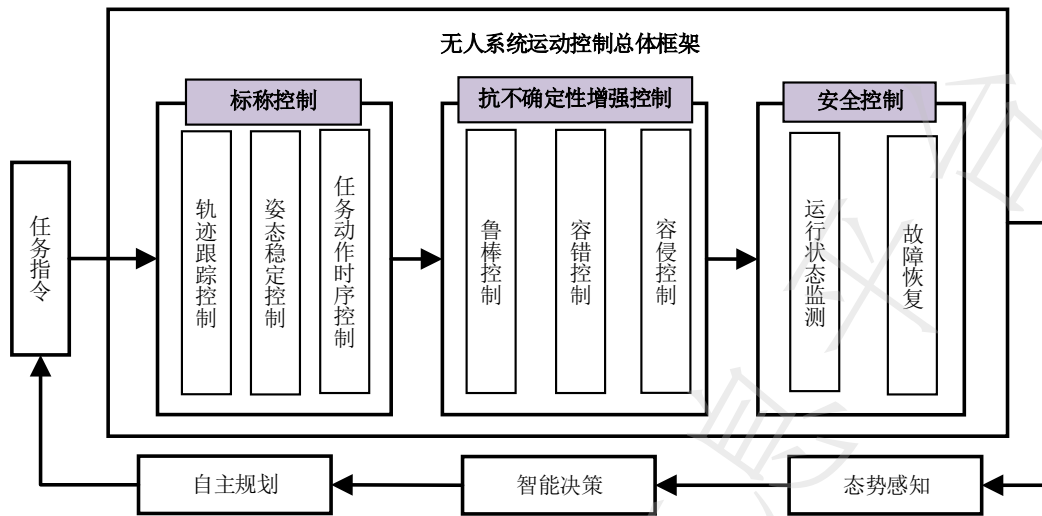


图1 无人系统运动控制总体框架

#### 4.2 标称控制

标称控制是在无明显外部扰动和系统故障的情况下，依托稳定的控制算法实现高精度和高可靠性的运动与任务执行。该环节主要体现无人系统在轨迹跟踪、姿态稳定和任务动作时序方面的基础控制能力，为后续的抗不确定性增强控制和安全控制提供性能基准。其主要流程如下：

- a) 轨迹跟踪控制：轨迹跟踪是标称控制的基础能力，用于衡量无人系统在执行过程中对规划路径的跟随效果。通过均方根误差（RMSE）、最大控制误差和稳态偏差等指标，反映系统在标称工况下的跟踪精度与控制裕度，确保任务运行满足精度与安全要求。
- b) 姿态稳定控制：姿态控制是保障轨迹跟踪精度的关键环节。标称条件下，姿态与稳定性的常用指标包括姿态角误差（俯仰、横滚、偏航）、稳定裕度（相位裕度、增益裕度）以及恢复时间，这些指标用于评估系统在正常环境下的稳定性与动态响应能力，确保飞行/运动状态稳定可靠。
- c) 任务动作时序控制：无人系统在任务执行过程中通常需要完成时序严格的动作。标称控制要求这些动作与规划保持高度一致。通过动作延迟、动作成功率和动作协调误差等指标，评价系统在标称条件下的响应及时性和任务动作可靠性，保证任务动作（如编队保持、目标投放）的精确执行。

如表1所示，标称控制的关键技术包括轨迹跟踪控制、姿态稳定性控制、任务动作时序控制。

表1 标称控制关键技术一览

技术模块	功能描述
轨迹跟踪控制	按规划路径持续校正位置/速度偏差，保证全程跟随精度与越界风险可控
姿态稳定控制	在小扰动与机动切换下保持姿态并快速收敛，提供必要的稳定裕度
任务动作时序控制	按计划窗口触发并完成关键动作，响应及时且连续

#### 4.3 抗不确定性增强控制

与标称控制不同，抗不确定性增强控制强调在外部扰动、参数不确定性和潜在故障存在时，系统通过鲁棒控制、容错控制和容侵控制等机制维持稳定与安全。该模块旨在扩展系统在复杂、高对抗环境下的适应性和任务连续性，使无人系统在标称性能之外，具备应对环境不确定性与运行风险的能力。其主要流程如下：

- a) 鲁棒控制：通过在设计中预先设定裕度，使系统在参数变化或外部扰动存在时，依然能够保持稳定性和基本性能。典型方法包括滑模控制等，这类方法不依赖运行中的实时调参，而是通过控制器的固有设计抵御不确定性。鲁棒控制能够在风场扰动、载荷变化等标称外条件下，为无人系统提供稳定的轨迹跟踪和姿态保持能力。
- b) 容错控制：当状态监测系统通过基于模型或数据驱动的异常检测算法迅速识别出执行单元失效、传感器故障或结点通信中断时，会无缝触发多层级的容错机制。与此同时，系统运用干扰抑制算法，有效应对电磁干扰和信号噪声，通过动态调整频率和功率，保障通信链路的稳定性和数据传输可靠性，从而减轻外部干扰对系统性能的影响。
- c) 容侵控制：采用 AES-256 加密通信、跳频抗干扰协议等安全技术，结合状态监测对通信链路质量与安全性进行实时评估，检测潜在的网络攻击或数据篡改，及时切换安全策略，防止失控、碰撞或任务失败。

如表2所示，抗不确定性增强控制的关键技术包括鲁棒控制、容错控制以及容侵控制。

表2 抗不确定性增强控制关键技术一览

技术模块	功能描述
鲁棒控制	在设计阶段预设裕度，保证系统在参数变化或外部扰动下的稳定性和基本性能
容错控制	通过异常检测触发容错响应，结合干扰抑制算法和参数调整，维持任务连续性与性能稳定
容侵控制	加密通信与协议切换，实时检测攻击并防止失控

在标称控制与抗不确定性增强控制的基础上，无人系统能够在动态和高对抗环境中保持任务的稳定运行。然而，单纯依靠这些控制机制并不足以在复杂、多变的任务环境中实现最优性能。为了进一步提升运行效率、延长系统寿命并增强任务成功率，需要引入安全控制机制，通过对控制策略、参数配置和任务分配进行持续改进，使系统在面对长期运行和突发事件时仍能保持高效与鲁棒性。

#### 4.4 安全控制

##### 4.4.1 运行状态监测

运行状态监测是无人系统运动控制系统中安全控制的核心组成部分，主要通过位姿估计、异常检测等技术，实现对无人系统单元实时状态的全面感知和诊断。该模块为标称控制提供持续的信息支持，确保系统在复杂、高动态和高对抗环境中维持稳定运行。通过集成多种传感器数据和先进的算法，运行状态监测能够及时识别潜在问题、优化数据准确性，并为后续的控制决策和调整提供可靠基础。以下对位姿估计、异常检测进行详细阐述，这些技术在整个运动控制流程中贯穿始终，与标称控制和抗不确定性增强控制形成闭环互动。其主要流程如下：

- a) 位姿估计：位姿估计是运行状态监测的基础功能用于实时确定无人系统的位置、速度、姿态和方向，该技术依赖于多源传感器数据（如IMU惯性测量单元、卫星全球定位系统、视觉SLAM同时定位与地图构建、激光雷达等）的融合处理，确保在卫星信号弱或干扰严重的复杂环境中仍能提供高精度估计。

- b) 异常检测：异常检测旨在实时识别无人系统运行中的异常状态，如运动偏差、通信延迟、传感器故障、目标丢失或外部干扰攻击，从而触发及时响应机制，该技术基于阈值监测、统计分析和机器学习算法，对状态数据进行诊断，确保系统快速应对不确定性因素。

如表3所示，运行状态监测的关键技术包括位姿估计，异常检测。

表3 运行状态监测关键技术一览

技术模块	功能描述
位姿估计	多源传感器融合实时确定位置速度姿态，确保高精度状态信息
异常检测	阈值监测与算法识别不正常状态，触发及时响应机制

#### 4.4.2 故障恢复

故障恢复是无人系统运动控制系统中安全控制的关键组成部分，通过能源管理、网络策略优化技术，实现对系统异常的快速响应和恢复，确保任务连续性和系统稳定性。该模块与运行状态监测紧密结合，利用监测数据触发恢复机制，支持高动态、高对抗场景下的可靠运行。主要流程如下：

- a) 能源管理：通过能量感知的路径规划和任务分配生成低能耗轨迹，减少高能耗动作比例，根据系统剩余能量动态调整任务负载，优化传感器采样率，延长续航时间。
- b) 网络策略优化：通过网络拓扑优化算法，系统根据通信链路状态（如延迟、丢包率）灵活调整网络配置，结合动态路由协议和负载均衡技术提升数据传输效率与网络鲁棒性，适应高动态环境中的链路变化，确保指令传递和任务协同的可靠性；同时，当检测到系统故障或通信中断时，系统自动切换至备用控制模式，或通过重规划任务执行方案，利用冗余设计快速恢复功能，维持任务的连续性和系统稳定性。

如表4所示，故障恢复的关键技术包括能源管理、网络策略优化。

表4 故障恢复关键技术一览

技术模块	功能描述
能源管理	能量感知规划降低消耗，动态调整负载延长续航
网络策略优化	通过拓扑与路由优化提升传输效率，结合备用模式与冗余机制保障任务连续