

面向分布式操作的无人机系统自动化能力分解

任高升, 张正娟

(中国民航科学技术研究院, 北京 100028)

摘要: 目前, 我国已发布无人机系统自动化等级6级分级方案, 但尚未明确不同等级自动化能力范围, 无人机运营人难以为无人机系统进行自动化等级测评和定级。本文探讨了无人机系统分布式操作的特点和自动化能力, 分析了JARUS的自动化分级方法, 运用因果分析法识别无人机系统分布式操作实际运行中的风险, 提出了一种系统自动化能力分解方法。该方法遵循面向运行场景、基于运行风险的原则, 为无人机系统自动化测评和定级提供了有益参考, 可以有效促进分布式操作无人驾驶航空产业健康有序发展。

关键词: 无人机系统; 分布式操作; 运行风险; 自动化能力

中图分类号: V19

文献标识码: A

UAS Automation Capability Decomposition for Distributed Operation

REN Gaosheng, ZHANG Zhengjuan

(China Academy of Civil Aviation Science and Technology, Beijing 100028, China)

Abstract: At present, China has released the 6 – automation level (AL) grading plan of the unmanned aircraft system (UAS), but it has not yet made clear the scope of automation capability of different levels. It is difficult for UAS operators to conduct AL evaluation and grading for UAS. This article explores the UAS distributed operation characteristics and automation capability, analyzes the automation grading method of JARUS, uses causal analysis method to identify the operating risks of the UAS distributed operation, and proposes a method of UAS automation capability decomposition. This method follows operation scenario – oriented and operation risk – based principles, provides useful reference for the AL evaluation and grading of UAS, and can effectively promote healthy and orderly development of UAS distributed operation.

Key words: unmanned aircraft system; distributed operation; operation risk; automation capability

0 引言

2023年6月, 国务院、中央军委公布实施《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》。依据该条例, 我国民用无人驾驶航空器(以下简称无人机)运行有“独立操控”“分布式操作”和“集群”三种操控模式。在民用航空领域, 独立操控是主流, 随着无人机系统自动化能力的高速迭代和分布式计算技术的快速发展, 分布式

操作将逐渐成为无人机系统操控的明显趋势。中国民用航空局于2022年发布了行业标准《民用无人驾驶航空器系统分布式操作运行等级划分》(MH/T 2013 – 2022), 提出了无人机系统AL – 0至AL – 5的自动化6级分级方案, 明确了分布式操作运行的安全等级标准^[1]。

自动化指对设备进行设置, 使其能够遵守预先设定的规则, 旨在将人类操作员从枯燥、易错的重复工作中解放出来。自动化能够为人类操作员提供支持, 使其有

项目支持: 航科院基本科研业务费专项资金资助(x222060302545)

作者简介: 任高升, 男, 河南驻马店人, 工程师, 主要研究方向是航空遥感和无人机安全运行。

时间完成其他需要批判性思维和创造性思维的工作。自动化等级是对自动飞行系统可以不依赖人工介入而实施飞行的能力定级, 但标准 MH/T 2013-2022 未明确无人机系统不同等级需具备的自动化能力。如何进行无人机系统自动化能力分解, 通过无人机系统的自动化能力确定无人机系统自动化等级成为亟需解决的问题。

《“十四五”民用航空发展规划》指出, 无人机运行理论、风险评估、技术验证等研究应坚持面向运行场景、基于运行风险、分级分类管理的原则。本文探讨无人机系统分布式操作特点, 分析无人系统规则制定联合体 (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems, JARUS) 的自动化操作分级和能力分解方法, 基于无人机分布式操作实际运行中的各种风险, 提出一种无人机系统自动化能力分解方法, 为无人机系统自动化测评和定级提供依据。

1 分布式操作

分布式操作, 是指把无人驾驶航空器系统操作分解为多个子业务, 部署在多个站点或者终端进行协同操作的模式, 分布式操作应达到一定的自动化程度, 具备操作人员和自动飞行系统的协同能力。分布式是相对于集成化而言的, 分布式的主要内涵是“去集中化”, 通过分解任务, 把职能拆解。美国国防预先研究计划局 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 推出了应用于无人机集群的分布式处理系统, 其分布式处理系统由具备计算与通信功能的多种设备构成, 通过通信和计算分析实现分布式系统中的各种协作处理^[2]。

分布式的概念广泛应用于各领域, 其演变进化产生了很多新的类型, 应用于无人机操控领域, 就是将无人机系统操作分解为多个子业务, 由操作人员和系统协同操控航空器的飞行过程。根据系统自动化程度, 操作人员介入程度不同。分布式的操作模式主要解决地面操作站集中化操控和管理的问题, 不要求操作人员个人具备对无人机系统的完全操作能力, 具体特点如下。

1) 具备分布式操作终端, 将无人机操作模块化分解, 一名或多名操作人员通过分布式操控终端负责地面一个或多个部分的操控任务, 通过模块化分解, 使操作人员可以集中于飞行操控任务中的某一子任务, 提供运营人多机运行能力。由于飞行阶段和任务分工的维度/

模式存在多样性, 分布式操控终端具有不同的物理形式, 区别于独立操控中“集中式”的遥控站。随着机端系统自动化程度的提高, 地面部分承担的操控任务逐渐减少。

2) 具备分布式操作自动飞行系统, 系统可以承担分解而来的飞行任务, 如机载协同系统可以自动探测和响应部分运行环境风险、云端实现高精地图导航和航线冲突探测等。操作人员根据系统自动化程度扮演不同的角色, 承担相应的责任。设计运行范围内, 系统和操作人员协同负责上层决策控制, 随着系统自动化程度的提高, 实现分布式操作无限制运行。

分布式操作所规范的自动化运行模式, 减少了人员介入, 增强了运行能力, 提高了运行安全, 让行业在运行人员总量有限的条件下, 将整体商业运行规模扩大数倍, 并推动人力成本的降低, 提高企业运营效益。

2 无人机系统自动化分级

划分等级确定对应标准是自动驾驶领域的通行做法, 汽车自动驾驶即是在分级的基础上形成标准, 对研发和运行予以规范。JARUS 和中国民用航空局均研究了无人机系统的自动化等级划分方法。JARUS 是全球航空领域国家监管机构专家组成的新型国际组织, 开展无人航空规则的前沿研究, 致力于无人航空监管规则制定, 促进全球无人航空安全、健康、持续发展。JARUS 提供了一种自动化能力分解方法。我国目前尚未公布自动化能力分解方法。

2.1 JARUS 自动化等级框架

为了评估自动化程度对无人机系统操作的影响, JARUS 提出了一种无人机系统操作自动化评估方法, 同时引入了设计运行范围 (operational design domain, ODD) 的概念, 确定自动化能力的范围, 帮助管理复杂的多维无人机系统操作环境。

JARUS 以飞行操作中系统能力为中心进行等级评估, 提出了无人机系统操作自动化6级分级方案, 该方案将自动化能力划分为人机协同、后援 (超出设计阈值)、飞行器持续控制、目标和事件探测与响应以及与外部系统 (地面和空域系统) 的通信4个分级要素, 根据能力执行中操作人员与系统承担的角色、责任进行无人机系统自动化操作等级划分。无人机系统飞行操作自动化分级见表1。

表 1 无人机系统飞行操作自动化分级

等级	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
能力	手动操作	辅助操作	任务减少	监督自动化	异常管理	自主
人机协同	人类主导	人在环里	人在环上	人在环上	人在环上	人在环外
后援（超出设计阈值）	人	人	人	人	人	机器
飞行器持续控制	人	人 + 机器	机器	机器	机器	机器
目标和事件探测与响应	人	人	机器	机器	机器	机器
与外部系统的通信	人	人	人/机器	机器	机器	机器

JARUS 还对自动化能力做了进一步分解，如表 2 所示。

管理原则，基于功能危险分析（function hazard analysis, FHA）和流程图方法进行无人机系统危险源识别，并使用因果分析法进行运行风险分析，结合自动化等级划分要素进行无人机系统自动化能力分解。

表 2 JARUS 自动化能力分解

自动化分级要素	能力分解
人机团队协作	飞机控制切换、系统状态识别、多系统管理、延迟限制
持续的飞行操纵	位置保持、制导、多系统动态协调、飞行管理和操控
对目标和事件探测和响应	地面限制和空域冲突识别、地形和障碍物规避、应急管理、安全着陆
后援（超出设计阈值）	故障识别和告警、应急管理、安全着陆、空域管理
与外部系统的通信	空中交通管理和服务、与其他空域用户信息共享、天气

2.2 中国民用航空局自动化分级

行业标准 MH/T 2013 – 2022 依据飞行任务执行、运行风险因素探测与响应、飞行任务接管及设计运行范围 4 个自动化分级要素，对无人机系统划分为 AL – 0 至 AL – 5 共 6 个级别，并对应不同的技术要求。自动飞行系统的自动化等级与划分要素的关系见表 3。

3 无人机系统自动化能力分解

按照面向运行场景、基于运行风险的民用无人机运行

3.1 无人机系统运行风险识别

《特定类无人机试运行管理规程（暂行）》（AC – 92 – 2019 – 01）针对无人机系统技术、支持无人机系统运行的外部系统性能、人为因素和运行条件等 4 个方面对无人机系统运行安全目标进行识别。本文基于上述 4 个方面进行运行风险识别，分析可能影响运行安全的因素。典型的风险识别方法有头脑风暴法、故障树分析、人的因素分析分类、FHA、流程图法和因果分析法等。流程图法是识别系统运行过程中潜在风险的重要方法，主要针对流程中的关键环节和薄弱环节识别出系统运行中潜在的风险因素。FHA 在系统的研制生命周期开始时进行，目的是识别系统功能及其功能组合相关的失效状态，确定每个失效状态的影响等级并进行等级分类，根据影响等级建立相应的安全性目标。因果分析法是一种用于查找问题产生根本原因的管理方法，主要用于风险识别，可打破个人思维局限性，较为全面地获得风险因素。

表 3 自动化等级与划分要素的关系

自动化程度	自动化等级	飞行任务执行	运行风险探测与响应		飞行任务接管	设计运行范围
			内部因素	外部因素		
—	AL – 0	操作人员	操作人员	操作人员	操作人员	有限制
L	AL – 1	系统 + 操作人员	系统 + 操作人员	操作人员	操作人员	有限制
M	AL – 2	系统	系统 + 操作人员	系统 + 操作人员	系统/操作人员	有限制
	AL – 3	系统	系统	系统 + 操作人员	系统/操作人员	有限制
H	AL – 4	系统	系统	系统	系统/操作人员	有限制
	AL – 5	系统	系统	系统	系统/操作人员	无限制

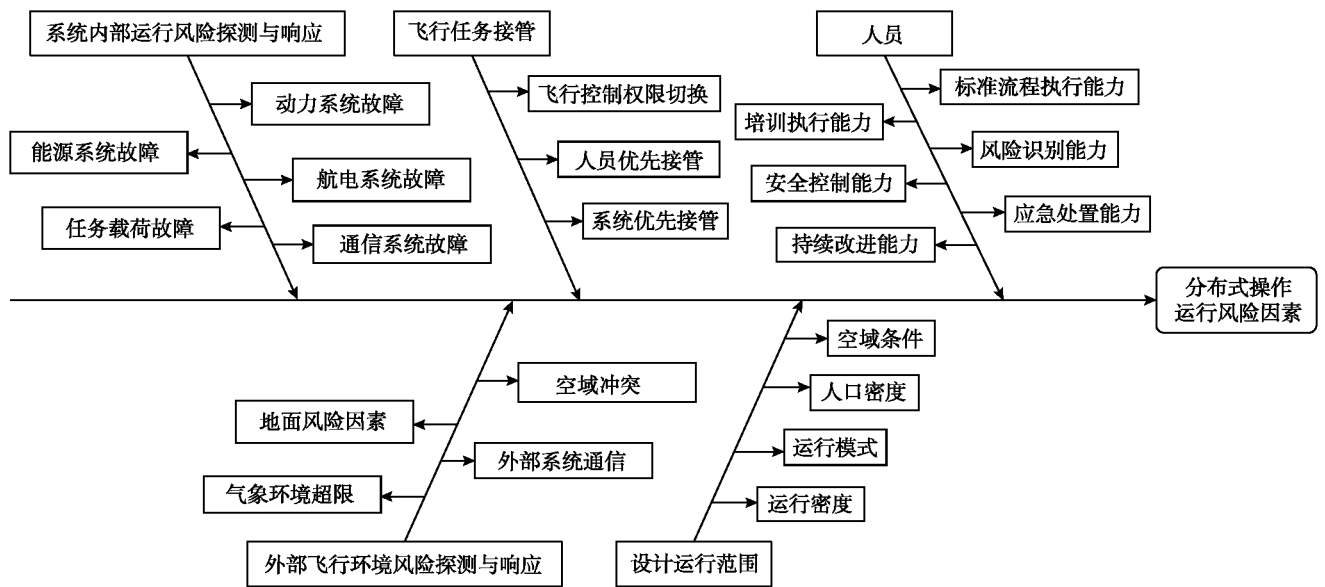


图 1 分布式操作运行风险因素分析

多种方法结合可以系统地识别整个运行过程的风险, 本文运用 FHA 和流程图方法初步识别无人机运行风险, 根据《无人机云系统数据规范》(MH/T 2011 – 2019) 构建的无人机交通管理流程^[3], 按照无人机运行时间顺序识别风险, 分析无人机在飞行中的飞行操作要求。使用因果分析法分析分布式操作运行风险因素, 按照系统内部运行风险因素、外部飞行环境风险因素、飞行任务接管、设计运行范围和人员因素 5 种类别整理分布式操作运行风险因素。结果见图 1。

3.2 自动化能力分解

基于上述分布式操作运行风险因素, 结合飞行任务执行、内部运行风险因素探测与响应、外部运行风险因素探测与响应、飞行任务接管和设计运行范围 5 个自动化等级划分要素进行无人机系统自动化能力分解, 结果见表 4。

表 4 自动化能力分解

自动化分级要素	能力分解
飞行任务执行	飞行前健康状态识别、航线保持能力、预定轨迹飞行控制能力、航线规划能力
内部运行风险因素探测与响应	动力能源系统故障探测与响应、航电系统故障探测与响应、任务载荷系统故障探测与响应、通信系统故障探测与响应
外部运行风险因素探测与响应	飞行中的气象超限预警能力、地面风险因素探测与响应、与外部系统通信能力监测与响应、空域飞行冲突探测与响应

续表

自动化分级要素	能力分解
飞行任务接管	控制权限切换、操作人员接管、系统优先接管
设计运行范围	有限制(运行密度、运行模式、人口密度、空域条件)、无限制(融合空域)

4 结语

当前, 民用无人驾驶航空快速发展、迭代演进, 操控员数量持续快速增加。本文结合无人机系统自动化等级分级和 JARUS 自动化能力分解方法, 提供了一种基于分布式操作运行风险的无人机系统自动化能力分解方法, 为实施分布式操作的无人机系统自动化等级定级和测评体系完善提供了有益参考。可以预见, 随着无人机运行场景日趋复杂, 系统自动化能力的高速迭代, 分布式操作将成为无人驾驶航空发展的明显趋势。

参考文献

[1] 中国民用航空局. 民用无人驾驶航空器系统分布式操作运行等级划分: MH/T 2013 – 2022[S]. 北京: 2022.

[2] 薛俊杰, 王瑛, 祝捷等. 美国无人机分布式处理系统研究现状综述[J]. 飞航导弹, 2015(10): 30 – 34 + 61.

[3] 中国民用航空局. 无人机云系统数据规范: MH/T 2011 – 2019[S]. 北京: 2019.

(责任编辑 赵叶琼)