

综合飞行器管理系统(IVMS)研究综述

吴文海, 郭晓峰, 周思羽

(海军航空大学(青岛校区)航空仪电控制工程与指挥系, 山东 青岛 266041)

摘要: 现代高新技术条件下空战模式对战机作战性能和机载系统综合化设计提出了更高的要求, 促使综合飞行器管理技术出现, 并使其成为先进战机作战任务管理和飞行器管理的关键技术。文章系统性介绍了综合飞行器管理系统的技术背景及发展状况, 给出了综合飞行器管理系统的结构框架, 将其分为感知层、决策层和执行层, 并分析了各层级的功能作用, 分别介绍了系统构架和软件系统结构; 阐述了系统的基本功能及关键技术包括态势感知与评估、任务航迹规划、综合航行驾驶、自动攻击引导、健康管理及预测以及智能人机交互六方面, 探讨了综合飞行器管理系统未来的主要发展方向。

关键词: 综合飞行器管理; 发展背景; 系统层次架构; 基本功能

中图分类号: V249.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-2758(2020)03-0657-11

近半个世纪以来, 航空与发动机技术的进步, 使得超声速巡航、超机动性以及隐身性能得到了提高, 极大地改进了战机性能, 提高了作战效能; 精确制导武器系统性能的提高, 使得空战模式从尾后追击、近距格斗发展为超视距、全向、多目标、超机动攻击, 形成以信息化、数字化为基础的精确打击能力; 一体化防空网络和雷达预警系统使区域防空体系愈加完善, 导致作战环境日益恶劣, 战机突防任务愈难实施, 飞行员操纵战机机动的同时难以实现对繁重作战任务的规划与决策。

电子与计算机技术的迅猛发展, 飞机机载系统不断向着自动化、综合化和智能化方向发展, 使机载系统功能越来越完善, 性能越来越好, 从单一系统独立运行发展到各系统协调统一的综合化监控、调配系统。

战机性能的提高大大增加了其生命周期费用, 在各国国防经费预算受限的条件下, 提高系统复用性, 增强系统硬件通用性和可拓展性以减轻经济压力成为重要考虑因素。

最终, 形成了以强调对任务管理、控制、执行的高效性、完成性及作战效能最佳性的战术飞行管理系统^[1] (tactical flight management system, TFMS) 和强调对战机各子系统理解、计划、控制和监控, 关乎

战机安全性、生存性和操作性的飞行器管理系统^[2] (vehicle management system, VMS) 为基础的综合飞行器管理系统^[3] (integrated vehicle management system, IVMS), 通过基于物理综合, 减小系统复杂程度, 改进系统可靠性和维修性, 提高系统拓展性和复用性; 基于功能融合, 优化系统功能, 挖掘战机作战潜力, 增强信息和资源的综合化水平。

目前, 对IVMS的研究主要集中对IVMS的层次结构和系统架构介绍^[4-7]。本文在此基础上, 系统性地阐述IVMS的技术背景与发展状况, 深入分析了IVMS的层次结构和系统框架, 对其基本功能和关键技术进行了探讨, 以期从整体对IVMS具有更充分的认识, 对IVMS未来的发展具有更全面的了解。

1 技术背景与发展状况

新一代战机的研发与装配使得各国认识到如何对战机相关系统进行综合与管理以提高现代空战背景下整机作战效能已经成为亟需解决的重要难题^[8]。为此, 已有任务及飞行器管理技术基础上, 传承综合飞行/火力控制 (integrated flight/fire

收稿日期: 2019-01-16

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0806900)资助

作者简介: 吴文海(1962—), 海军航空大学教授、博士生导师, 主要从事精确制导与控制研究。

control, IFFC)、综合飞行/推进控制(integrated flight/propulsion control, IFPC)以及综合飞行/火力/推进控制(integrated flight/fire/propulsion control, IFFPC)等成果,研制一种适用于新一代战机的综合性管理系统,对整个战机系统功能及物理结构综合^[9],以进一步提高战机作战任务效能,降低系统复杂度,增强系统复用性和拓展性,实现全面地综合化、通用化与智能化,进而催生出 IVMS。

1.1 综合飞行/火力控制

20 世纪 70 年代初期,美国率先开始新型火控系统研究并提出了 IFFC 的理念。1975 年开始的“FireFly”研究中,首次明确了 IFFC 的概念,并对 IFFC 进行原理探索和仿真验证研究。从“FireFly I”的原理性研究到“FireFly II”工程实践研究,再到进一步开展的先进战机技术综合(advanced fighter technology integration, AFTI)计划,形成了更为全面、清晰的 IFFC 概念,实现了 IFFC 综合技术和飞行验证 2 项关键性突破,在综合控制系统的层次、结构及管理等方面提出许多有价值的观点^[10]。IFFC 技术的使用显著提高武器命中率,极大程度地提升了战机作战效能,提高了战机生存率。

1.2 综合飞行/推进控制

IFPC 技术起始于 20 世纪 70 年代。研究初期,美国在 F-111 飞机上进行的综合推进控制(integrated propulsion control system, IPCS)项目实现了发动机数字控制与自动油门控制的交联,在 YF-12 飞机上进行的结构/推进协同控制(cooperative airframe/propulsion control system, CAPCS)项目实现了进气道/自动驾驶仪/自动油门杆的数字控制。随后进行飞推控制耦合(flight propulsion control coupling, FPCC)计划明确提出飞/推综合问题,并对综合方法和耦合作用进行了深入研究。

进入到 20 世纪 80 年代,美军开展的综合控制系统设计方法(design method for integrated control system, DMICS)和高度综合化数字电子控制(highly integrated digital electronic control, HIDECE)研究验证了 IFPC 在垂直/短距起降、地形跟随/回避、超机动格斗以及超音速巡航等方面的工程价值。20 世纪 80 年代后期进行的推力矢量研究使得战机在 IFPC 及推力矢量技术下实现敏捷性与机动性的同时实现低可探测性^[11-12]。

1.3 综合飞行/火力/推进控制

为了将 IFFC 和 IFPC 的优点结合起来,20 世纪

80 年代中期由 Knox 等^[13]首先提出了 IFFPC 的概念,通过将火控系统、飞控系统、推进系统、传感系统、导航制导、信息通讯等系统综合,充分挖掘战机的自动化与智能化水平,实现对目标快速、高效地搜索、识别、跟踪,完成火控解算、机动瞄准、武器选择发射等任务。IFFPC 技术的应用极大地增强了战机生存能力,提高了作战效能。

1.4 战术飞行管理系统

1982 年,美国空军莱特航空实验室与麦道公司首先提出了“战术飞行管理系统”的概念^[14],目的是在 IFFPC 研制计划、综合飞行轨迹控制研制计划、地形跟随/地形回避/威胁回避研制计划以及任务管理系统(mission management system, MMS)的基础上,构造一种全任务综合管理系统。根据战术任务的需要,依据各信息源获得的战场信息,协调、管理和控制各子系统运行,自动生成飞行计划,导引、控制载机按飞行计划执行相关战术机动,快而好地实现战术目标。增强战机在复杂战场威胁环境下执行战术任务的成功性及生存能力,减轻飞行员的操作负担。

1.5 综合飞行器管理系统

1996 年北约率先进行了 IVMS 的研究,通过对系统功能和物理综合,实现对战机系统的综合控制、决策管理、资源配置和诊断监测等,全面提升战术决策和系统管理能力,降低系统复杂度。

IVMS 通过物理综合构建高度综合化、通用化及模块化的系统结构,是一种基于资源综合、进程处理及系统状态的综合技术^[3,15]。IVMS 减少硬件之间交联,硬件资源为各处理程序所共享,改善了资源利用率低的问题,实现数据与信号计算的综合处理及信息的高度融合,提高系统资源效能。

现代高新技术空战模态下,对机载设备及系统完好性管理要求越来越高,为满足现代战争条件下持续保障能力和自主式后勤能力,IVMS 为系统提供故障预测与健康诊断(prognostics and health management, PHM)技术^[16],对战机各子系统物理层面进行综合管理,依据传感器信息及维修保障信息完成实时故障检测、诊断、隔离、重构、评估、管理与预测,实现基于系统监控的资源配置与功能调度有机组织,降低外界与状态改变所带系统波动。目前具有代表性的 PHM 及其主要应用情况如表 1 所示^[17]。

表 1 PHM 应用情况

类型	系统类别	应用情况
航天器	IVHM	X3-4 超高速飞行器、X-37 空
		天飞机、B-2、全球鹰、NASA 第
固定翼飞机	PHM	2 代可重复使用运载器
		F-35、F-22、“影子”200 战术
直升机	HUMS	无人机系统、阵风战斗机、
		EF-2000
		AH-64 阿帕奇、UH-60 黑鹰、
		CH-47 支奴干、RAH-66 科曼
		奇、EH-101、Bell-206

IVMS 通过功能综合协调各子系统功能任务^[18], 并行共享公共平台计算、通信、感知及执行资源, 功能软件化, 结果共享及过程复用, 实现任务动态融合、调整、重构、迁移, 优化功能任务组织, 提升系统功能结果精度、重要性和可用性。IVMS 将由硬件所实现的任务交由软件功能代替, 减少所需配置系统数, 提高处理效率, 为系统功能拓展提供有效的

解决方案。

20 世纪末, 无人作战飞机在战场上的活跃表现极大促进了对 IVMS 的研究^[19-20], 智能化决策与管理技术的全面应用使得 IVMS 在未来发展中能够实现对战机自主控制。

2 综合飞行器管理系统层次与架构

2.1 综合飞行器管理系统层次

IVMS 作为一项庞大而又繁杂的系统工程, 涵盖了整个战术任务过程, 其系统设计、层次结构、功能划分、数据信息管理等, 是感知、决策、导引、控制、管理实现的基础^[21]。IVMS 结构层次如图 1 所示, 采用“自上而下”的多层递阶控制结构综合设计。IVMS 对各子系统和资源进行综合管理、控制, 实现对态势感知、威胁评估、决策规划、执行控制等各级任务综合管理, 各层级可依据不同需求采用不同实现技术, 以实现战机功能综合^[22-23]。

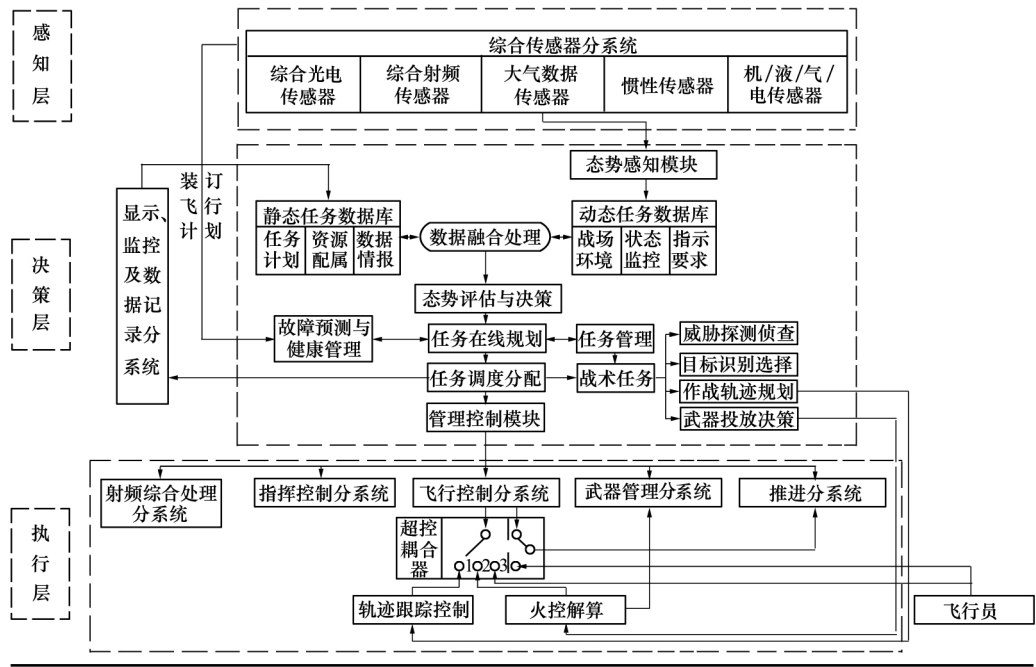


图 1 IVMS 结构层次

IVMS 可分为 3 个层次: 感知层、决策层和执行层^[24-25]。

感知层通过综合传感器分系统与外部环境进行数据和信息的交互, 基于感知与融合, 通过识别与推

测, 对外部态势和任务能力形成综合性评估, 获得地形、威胁源、友军状态等信息, 构建约束优化效能条件下的任务模态, 实现各系统之间不同层次上的信息共享, 并将获得信息数据实时更新到态势感知模

块以供动态任务数据库更新使用,通过显控分系统对任务计划、资源配置、性能参数进行配置。整个系统中,通过感知层获得的条件、能力及有效性评估是进行决策制定、任务管理和综合控制的基础。

决策层为 IVMS 的核心,依据综合传感器获得信息进行数据融合处理,对战场态势进行实时评估,依据战机自身状态以及任务目标在线进行任务规划,依据系统任务分类模式,形成威胁探测侦查、目标识别选择、作战轨迹规划和武器选择投放等决策信息合成,根据任务目标和决策信息协调、分配战机“资源”,产生指挥控制指令传送到管理控制模块,进而形成操控各分系统工作的控制信号。

执行层根据管理控制模块的控制信号,协调、高效地操控各分系统工作,在超控耦合器的切换下实现飞行控制分系统、武器管理分系统、推进分系统等的综合,保证任务的顺利完成。

2.2 综合飞行器管理系统构架

系统功能和可靠性需求的提升促使 IVMS 形成了分布式综合模块化系统^[26](distributed integrated modular system, DIMS) 架构,分为物理和虚拟 2 个空间,物理空间整合系统资源共享,降低系统复杂程度,支持系统专用处理进程;虚拟空间实现信息融合,支持任务综合处理,任务过程复用,任务结果继承等数据信息共享^[27]。

DIMS 架构采用通用化模块结构,嵌入式操作系

统、基于容错设计的处理系统以及高效、可靠的统一化数字传输网络,实现整个系统的信息控制、数据交互、容错重构和指令生成,提高系统综合化程度^[28],其中包括核心处理模块(common processing module, CPM)、输入输出(input/output, I/O)、存储模块(memory module, MEM)和远程数据集中器(remote data concentrator, RDC)等,通过高速容错数据总线和网络交换机(Switch)将各模块处理机互联,提高了系统的拓展性和适应性,增强系统容错重构能力。

DIMS 架构采用 RDC 技术将接口资源分离,实现原有各接口功能,解放了接口与处理进程资源的捆绑关系,通过 RDC 完成信号集中处理和数据转发任务,交联关系简洁^[29]。DIMS 架构优化传感器布局,通过 RDC“按需布置”,减少机身布缆数量,从而精简整个系统。DIMS 架构采用最低数量的标准通用模块,各模块与分系统及设备相互独立,在 switch 处实现各信息资源之间交互,将功能驻留与底层硬件隔离,提高架构灵活性、重构性和鲁棒性,有利于之后系统升级。基于 DIMS 架构设计系统开发过程中可按不同模块进行分块专业化硬件开发,提高开发效率和产品可靠性^[30]。

IVMS 典型产品有 F-22“猛禽”战机的“宝石柱”综合管理系统、EF-2000“台风”战机综合管理系统和 F-35“闪电 II”战机的“宝石台”综合管理系统^[31-33],其基本特性见表 2。

表 2 不同 IVMS 结构特性比较

特性	F-22	EF-2000	F-35
研制年代	20 世纪 80 年代初	20 世纪 80 年代中后期	本世纪初
系统架构	机械式综合化系统	分布控制系统	网络综合化分布式控制
容错配置	飞/推系统三余度	飞/推系统四余度; 公管系统双余度	三余度
系统总线	1533B	1533B	1394B
功能综合	飞/推功能综合; 部分公共设备子系统功能综合	飞/推功能综合; 公共设备子系统功能综合	飞控、推力、公共设备管理的功能综合
综合程度	部分物理和功能综合	结构高度集成功能部分综合	结构和功能高度综合
技术路线	军用技术	小部分商用技术	大部分商用技术

随着微电子、新材料和数字信息等高新技术的出现及发展,现代空战任务对高性能、低成本、短研制周期的需求愈加迫切,现有军用技术及其产品逐渐无法满足其发展,因此商用现货(commercial off-the-shelf, COTS)技术应运而生,从以往的军事驱动

转变为商业驱动^[34]。COTS 技术采用通用化、开放化技术标准,具有极强兼容性;采用前沿技术,具有良好的支持性和可拓展性,便于武器装备的升级换代;商业化保障模式保证产品供货、维修、后勤保障等专业性。目前,美国、欧洲、日本等国家相继进行

COTS 技术研究与实践。

2.3 综合飞行器管理系统软件体系结构

软件体系结构是系统抽象化表现,由于 IVMS 绝大部分功能的实现依靠软件完成,F-22 中 80% 的任务由软件驱动,软件代码 170 万行,F-35 中软件代码超 800 万行,因此软件体系结构的可靠性、可移植性及复用性成为衡量 IVMS 的一个重要标准^[35]。IVMS 软件体系结构如图 2 所示。“D”为直接接口,“3X”为第 3 级扩展接口,分为应用软件层、操作服务层和模块支持层,应用层实现系统功能,其余 2 层实现服务、支持及管理,是整个结构的基础^[36]。

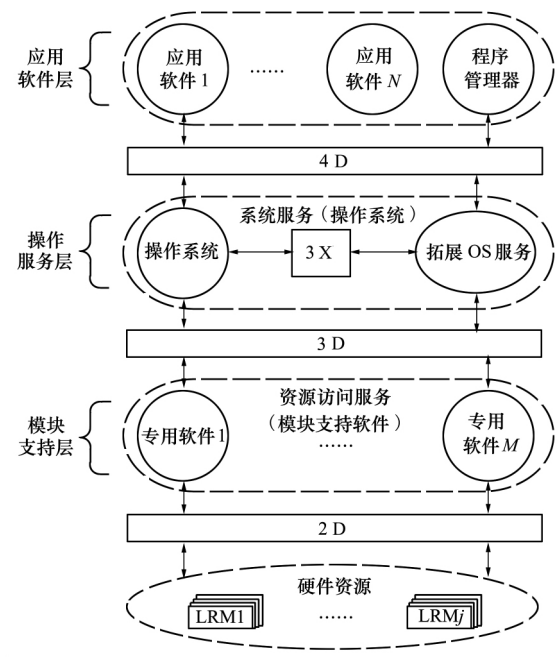


图2 IVMS 软件体系结构

该结构下各层功能相互独立,采用开放式标准以易于系统软件开发与功能扩展,高层级与底层级间通过各直接接口和逻辑接口实现数据转移、信息交换、管理控制和资源服务供应等活动,分级与分块使各应用软件、操作系统和硬件资源独立,应用软件仅与功能相关而无需硬件实现,软件与硬件更换互不影响,降低软件更新移植及新技术嵌入的复杂性,提高功能综合条件下系统的可靠性及复用性。

操作服务层中核心操作系统执行系统初始化并实现进程、存储、时间、通信、驱动管理及健康监测等基础功能;拓展 OS 服务是与系统需求相适应的服务组件,包括文件、网络和数据库管理等;模块支持层通过专用软件向硬件资源调取和机内自检等功能

提供支持,为操作系统和应用提供直接的访问服务,实现与硬件模块相关的控制与服务^[37]。

3 综合飞行器管理系统基本功能

3.1 态势感知与评估

态势指与战术目的相关的战场环境与目标的状态规律及发展变化趋势,态势感知是对获取信息进行处理、利用和理解,形成对一定时间内战场态势的预测,可分为感知(perception)、理解(comprehension)、预测(projection)^[38]。

“感知”是对各态势元素的状态、属性进行识别,提取关键要素,主要包括对我方位置状态、子系统性能状态、战场环境要素、敌方类型、数量、位置及状态等进行估计和相关数据预处理。

“理解”是在对态势要素感知的基础上,依据作战目标及军事领域相关知识来分辨各要素的重要性及性质,获得敌我双方作战部署,判断其作战意图及敌我优劣情况,形成对全局态势的把握,获得态势优势估计(包括距离优势、角度优势、速度优势和空战能力)。

“预测”指对各要素的重要性及特性理解的基础上,结合对全局态势的估计,对敌方目标威胁程度进行预估,判别敌方作战意图及计划,既可以是对局部目标态势预测,也可以对未来战场发展趋势进行预测,为最优决策提供依据^[39-41]。

IVMS 根据接收到外部信号源的各种信息,对整个战场环境进行实时态势感知与评估,为下一步决策规划提供信息依据。IVMS 通过将传感器分系统获得的本机位置状态信息、敌机类型、数量位置及状态信息、战场外界环境信息进行综合处理,对感知资源进行控制和管理,判断敌机作战企图,评估敌机威胁程度,实时更新战场态势^[42]。

信息技术和传感器技术飞速发展的今天,作战空间迅速扩展,战场信息急剧增加,使得态势感知与评估具有“4V”特点:规模巨大(volume)、变化迅速(velocity)、类型多样(variety)、价值极高(Value),这使得传统意义上基于经验和认知水平的计算机辅助感知与评估技术无法满足现代战场作战需求,基于机器学习和深度学习的态势感知与评估技术将展现出巨大的优势^[43]。

3.2 任务航迹规划

现代防空体系下,雷达探测范围、武器发射条

件、系统抗干扰能力得到极大的提升,这给任务执行带来巨大的挑战,仅凭飞行员自身能力来回避防空网络、复杂地形、恶劣天气等威胁变得难以实现^[44]。在复杂的作战环境下,为了降低被敌方防空网络发现的概率,削弱敌方防空武器威胁,进行任务航迹规划,使战机安全突防,实施精确打击,成为IVMS的主要功能^[45]。

IVMS任务航迹规划功能根据作战准则、战机性能、战场环境中的各种约束条件,综合考虑性能指标及任务目标,为战机规划出最优或满意的飞行航迹,使其实现任务目标。其中约束条件包括战机自身性能约束、任务时间约束、战机燃料携带量约束以及包含防空网络、地形等在内的威胁约束,性能指标是指与任务要求相关的综合指标,或使其以最大生存概率完成任务、或要求以最短时间实施打击、或规定耗能最低、或综合考虑几种因素等^[46]。

IVMS任务航迹规划可分为静态航迹预规划和动态航迹规划,静态航迹预规划是指战机起飞前,根据已知战场环境信息和威胁分布情况对航迹进行预规划处理,形成全局任务预规划;动态航迹规划是指在战机任务飞行过程中,根据传感器分系统获得的数据信息以及态势感知与评估获得的战场态势对突发威胁进行判定,若生成的预规划航迹中出现新的威胁因素,则要求IVMS实时在线更新规划飞行航迹^[47],由于威胁具有突发性,因此要求动态航迹规划功能必须快速、高效、可行以实现作战任务。根据任务过程不同,任务航迹规划又分为巡航段和攻击占位段等航迹规划,攻击占位阶段航迹规划需要考虑侦察的有效载荷、目标跟踪需求、导弹可用的发射区域以及路径长度的减少。整个攻击占位段航迹规划由2个步骤生成:首先,生成以作战需求和侦察中有效载荷和攻击武器的约束为重点的任务段;其次,将上一个任务段的端点与下一个任务段的起点连接起来,生成关节段,通过数学优化,使其专注于最短路径长度^[48-49]。

任务航迹规划是一种面向约束的组合优化问题,对于航迹规划算法国内外展开了大量的研究,智能算法的应用大大加快了运算速度和精度,提高了航迹搜索效率^[50-51]。

3.3 综合航行驾驶

IVMS将惯性导航、无线电导航、卫星导航、地形匹配、景象匹配和仪表着陆系统(ILS)、自动飞行控制系统(AFCS)、自动油门系统(A/T)等功能结合在

一起,构成综合航行驾驶系统^[4,52],克服了单一导航系统或简单组合导航系统性能的局限性,满足不同环境下飞行任务对导航性能的要求,实现基于性能导航的侧向、纵向飞行轨迹自动控制功能。

IVMS根据已经建立好的飞行计划,计算出最佳的垂直剖面来满足纵向和速度要求,控制飞机的垂直飞行轨迹、速度及推力,使战机按期望的飞行剖面飞行;同时根据所制定侧向飞行计划计算出水平飞行剖面的相关飞行参数,包括应飞行轨迹、偏航距、航迹误差角、待飞距离及待飞时间等,并依据计算出的相应飞行参数引导、控制战机沿相应航迹执行飞行任务^[53]。

IVMS综合航行驾驶提高了系统精确性、完好性、可用性、连续性等方面性能,优化飞行路径、缩短飞行时间、减少雷达引导需求、降低飞行员的工作负荷、提高飞行安全裕度。

3.4 自动攻击导引

战机机动性能、机载武器性能不断提高,作战空域不断扩大,敌我双方空战关系愈加复杂,仅依靠飞行员操纵战机完成攻击任务变得愈加困难,自动攻击导引功能的出现使得战机能够在现代复杂战术环境下更加综合化、自动化和智能化地执行空面和空空攻击任务^[54]。自动攻击导引控制使驾驶员注意力从繁琐的控制任务中解放出来,有足够的精力处理复杂战术环境下任务决策问题,在提高攻击效率及自身生存性的同时提供辅助决策规划^[49,55]。

自动攻击导引用来解决载机、机载武器和目标之间是否满足武器发射条件以及战机自身飞行约束问题。IVMS依据态势感知与评估获得目标态势信息以及空战态势理解,计算载机与目标之间相对运动,并将处理结果反馈至决策层。决策层综合火控解算结果得到的目标发射区、载机约束条件、目标载机相对运动及态势评估结果形成综合攻击决策,确定攻击武器、攻击方式、攻击时刻、攻击机动决策,在线实时进行攻击航迹规划。飞行控制系统根据偏差信号(包括瞄准误差、载机与目标相对位置偏差等)操控战机自动跟踪攻击轨迹,最终消除偏差达到攻击条件,完成快速攻击占位及武器发射,实现打击任务。

3.5 健康管理及预测

IVMS实时对战机各子系统进行故障检测,通过智能评估算法“诊断”各子系统健康状态,提供各系统状态信息并对各系统故障状态进行预测,实现战

机自主式后勤保障,提高战机的完好性及可靠性^[56]。IVMS 健康管理及预测主要分为传感器系统、信息处理、健康评估、健康预测以及决策支持 5 个模块^[57-58]。

IVMS 健康管理及预测通过综合传感器系统获得各系统实时信息并将数据传输到信息处理模块(information processing),对所获得的数据进行预处理与分析,筛选能够直接表征或者间接判断故障状态的数据信息,对数据进行特征提取,进行故障识别,将所得信息提供给健康评估模块^[59]。

健康评估模块(health assessment),分为状态监控和诊断评估两部分。状态监控负责对任务执行具有影响的各状态参量(如最大飞行高度、飞行速率、爬升速率、转弯速率以及剩余燃油情况等)进行监控,并将相关信息显示给飞行员;其次,状态监控将特征信号与预设故障阈值比较获得相应指示告警信息。诊断评估依据健康历史趋势、故障识别信息、历史维护记录等综合评估当前健康状态,得出合理的诊断结果,判断性能下降程度。

健康预测模块(health prognostics),通过智能算法结合战机未来作战使用包线对各系统进行综合评估,预测未来设备健康状态,预报部件剩余寿命,估计正常工作时间,针对部件故障预兆提供预检测与隔离能力。

决策支持模块(decision support),对故障严重程度进行估计,确定对载机的影响程度,调整配置,必要时进行自修复(如结构重构、冗余处理、信息修复等),并评估故障状态对任务执行的影响情况,若对任务实现产生影响,则将相关决策信息传送到 IVMS 决策层进行任务的重规划。其次,决策支持模块需要制定维修保养策略,更新维修保养大纲及维修阈值。最后,通过人机交互模块将健康状态、故障信息、演变预报等信息提供给飞行员。

3.6 智能人机交互

IVMS 具有智能人机交互功能,实现战机与飞行员之间高效协调工作,为飞行员提供高效的信息显示,及时、醒目地向飞行员预报突发事件,简单明了地为飞行员提供任务信息及方案计划,智能控制信息显示输出^[60-61]。

智能人机交互需要在有限时间内实现对数据信息筛选及显示,提取关键信息并以醒目方式显示。根据飞行员自身习惯不同特点,智能人机交互需要具备自适应灵活的显示能力,易于飞行员快速理解、

处理输入输出内容,帮助其迅速掌握态势信息,更为真实的感受战场环境^[62]。

IVMS 智能人机交互主要包括 4 个模块:

意图推理器模块(intent inferencer),依据态势感知信息、飞行员输入信息、任务目标信息推理飞行员决策意图,判断其合理性及可行性,并将推理结果推送至其余各模块中。

差错监控模块(error monitor),通过智能差错模型计算飞行员输入行为风险概率,并将计算结果反馈给飞行员。

自适应辅助决策模块(adaptive aider),依据任务目标计划,通过传感器分系统及态势感知评估结果,分析飞行员偏差行为,判断产生原因,辅助修正决策。

信息管理器模块(information manager),作为智能人机交互最主要的模块,负责判断何种信息以何种显示方式在何时显示给飞行员,以保证信息的时效性及关联性。

4 总结与展望

现代化信息战争条件下,对战机机动性能、作战性能等综合能力提出了更高的要求,IVMS 作为一项涉及多个领域、多种技术的系统性工程,其以任务要求为核心,通过对战机物理及功能综合,对整个系统协调管理与控制,搭建全任务管理系统,提高战机自动化、智能化水平,增强战机了在复杂及威胁环境下的生存能力,全面提高任务执行效率,减轻飞行员的操作负担,协助飞行员应对各种作战任务态势。未来 IVMS 发展方向主要有^[38,63-64]:

1) 电子信息技术地不断发展,使得高度网络化、模块化、综合化的分布式开放 DIMS 架构成为未来发展趋势,模块化系统进一步延伸至传感器前段,深化至机电模块,全面提升整个系统的灵活性、重构性、复用性和容错性。

2) 高速容错技术的数据网络技术是综合化的分布式架构重要的支撑,是整个系统的“神经中枢”,高速数据通讯总线技术将成为未来研究的重点,提高数据总线带宽和数据传输速率,增强系统数据交互的稳定性及安全性,满足“信息爆炸”下系统需求。

3) 分布式系统中需异步运行的模块与功能之间协调一致,实现系统“绝对同步”。在充分考虑分

区、时间触发机制及其他关键特性的前提下,基于联合程序调度策略的系统实时同步技术是后续深入研究的另一项关键技术。

4) 未来航空技术的发展促进 IVMS 系统与飞机总体设计实现一体化设计的理念,通过定制与机体结构和外形相适应的异形智能化部件模块,根据需求灵活组配,实现 IVMS 系统与机体协调统一,进一步减小系统重量,提升空间利用效能。

5) 人工智能技术的成熟,将使得其广泛应用于 IVMS 功能实现的各个阶段,基于大数据和深度学习,利用智能认知模型与进化算法结合,使 IVMS 对复杂非线性系统具有极强表达能力,通过不断的自主学习过程,能够深度挖掘深层信息;多层次学习认知特性对态势空间、时间及交互的多层级关系具有极

强的理解与辨析能力;自主学习能力能够不断实现自我学习进化,自适应提取高维作战空间中的特征要素及关键信息。

6) 基于人工智能技术的 IVMS 将全面提升作战构想、任务方案和执行决策的快速生成与推演模拟能力,在大量训练积累下,人工智能技术充分挖掘作战任务中潜在的规律信息,通过智能算法快速推理计算获得最优方案,为飞行员提供高效精确的战场决策能力,极大程度降低飞行员观察-判断-决策-行动环(observation orientation decision action, OO-DA) 时间,提高战场应变决策能力。全面提升 IVMS 智能控制、智能决策和智能规划水平,成为 IVMS 发展的必然趋势。

参考文献:

- [1] KLAFIN J. Tactical Flight Management System Design[C]//Aircraft Design, Systems and Technology Meeting, 1983
- [2] COCHRAN K G. Artificial Intelligence Techniques Applied to Vehicle Management System Diagnostics[C]//Digital Avionics Systems Conference, 1991
- [3] Advisory Group for Aerospace Research & Development. Integrated Vehicle Management Systems[R]. AGARD Advisory Report 343, 1996
- [4] 吴文海. 飞行综合控制系统[M]. 北京: 航空工业出版社, 2007: 195-197
WU Wenhai. Integrated Flight Control System[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2007: 195-197 (in Chinese)
- [5] COLLINSON R P G. 飞行综合驾驶系统导论[M]. 吴文海, 程传金, 译. 北京: 航空工业出版社, 2009: 284-292
COLLINSON R P G. Introduction to Avionics System[M]. WU Wenhai, CHENG Chuanjin, Translator. Beijing: Aviation Industry Press, 2009: 284-292 (in Chinese)
- [6] 申功璋, 高金源, 张津. 飞机综合控制与飞行管理[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008: 250-255
SHEN Gongzhang, GAO Jinyuan, ZHANG Jin. Aircraft Integrated Control and Flight Management[M]. Beijing: Beihang University Press, 2008: 250-255 (in Chinese)
- [7] 张喜民, 徐鼻. 先进战斗机的综合飞行器管理系统综述[J]. 电光与控制, 2011, 18(11): 1-6
ZHANG Ximin, XU Ao. On Integrated Vehicle Management System of Advanced Fighters[J]. Electronics Optics & Control, 2011, 18(11): 1-6 (in Chinese)
- [8] 罗巧云. 第五代战斗机在未来空战中的应用[J]. 国防科技, 2017(4): 57-62
LUO Qiaoyun. Review on the Operational Application of the Fifth Generation Fighter in Future Air Combat[J]. National Defense Science & Technology, 2017(4): 57-62 (in Chinese)
- [9] PARIS D E, TREVINO L. Integrated Intelligent Vehicle Management Framework[C]//2008 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, 2008: 1-7
- [10] BLAKELOCK J H. Design and Analysis of a Digitally Controlled Integrated Flight/Fire Control System[J]. Journal of Guidance Control & Dynamics, 1983, 6(4): 251-257
- [11] PAHLE J W, POWERS B, REGENIE V, et al. Research Flight-Control System Development for the F-18 High Alpha Research Vehicle[R]. NASA-1991-0012818
- [12] CANTER D E, GROVES A W. X-31 Post-Stall Envelope Expansion and Tactical Utility Testing[C]//AIAA 7th Biennial Flight Test Conference, 1994: 122-133
- [13] KNOX C E, MEYER D W. Integrated Flight/Fire/Propulsion Controls[C]//AIAA, AHS, ASEE Aircraft Design Systems and

- Operations Meeting, 1984: 1-5
- [14] COMEGYS G L. Tactical Flight Management—an Overview[C]//Aerospace Congress & Exposition, 1984: 1-8
- [15] WANG G, GU Q. Research on Distributed Integrated Modular Avionics System Architecture Design and Implementation[C]//IEEE/AIAA 32nd Digital Avionics Systems Conference, East Syracuse, NY, 2013: 7D6-1-7D6-10
- [16] KIM N H, CHOI J H, DAWN A. Prognostics and Health Management of Engineering Systems[M]. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017: 2-4
- [17] 张宝珍, 王萍, 尤晨宇. 国外飞机预测与健康管理工作计划综述[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(6): 1-7
ZHANG Baozhen, WANG Ping, YOU Chenyu. Overview of Oversea Prognostics and Health Management Technologies Development Projects[J]. Computer Measurement & Control, 2016, 24(6): 1-7 (in Chinese)
- [18] Santamaria E, Royo P, Barrado C, et al. An Integrated Mission Management System for UAS Civil Applications[C]//AIAA Guidance, Navigation, & Control Conference, 2009
- [19] GAO L, WU W, JIA L. Design Methodology of Vehicle Management System for Unmanned Combat Aerial Vehicle[C]//Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, 2010
- [20] TALLEY D, MAVRIS D. An Adaptive Environment for the Identification of Morphing UCAV Mission Requirements[C]//AIAA Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, 2013
- [21] GUNETTI P, DODD T, THOMPSON H. Simulation of a Soar-Based Autonomous Mission Management System for Unmanned Aircraft[J]. Journal of Aerospace Computing Information & Communication, 2013, 10(2): 53-70
- [22] FENG Z, LU H, JIANG W. A Reconfigurable Mission Management System Based on Modular Framework for Micro UAVs[C]//Guidance, Navigation & Control Conference, 2015
- [23] THEISSING N, SCHULTE A. Intent-Based UAV Mission Management Using an Adaptive Mixed-Initiative Operator Assistant System[C]//AIAA Infotech@Aerospace Conference, 2013
- [24] ROYO P, BARRADO C, SALAMI E, et al. Towards the Automation of the UAS Mission Management[C]//Digital Avionics Systems Conference, 2013
- [25] 罗畅, 王洁, 王鹏飞, 等. 无人作战飞机智能化及其自主攻击研究[J]. 飞航导弹, 2015(8): 18-24
LUO Chang, WANG Jie, WANG Pengfei, et al. Research on Intelligence and Autonomous Attack of Unmanned Combat Aerial Vehicle[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2015(8): 18-24 (in Chinese)
- [26] 王国庆, 谷青范, 王淼, 等. 新一代综合化航空电子系统构架技术研究[J]. 航空学报, 2014, 35(6): 1473-1486
WANG Guoqing, GU Qingfan, WANG Miao, et al. Research on the Architecture Technology for New Generation Integrated Avionics System[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2014, 35(6): 1473-1486 (in Chinese)
- [27] WANG G Q, GU Q F. Research on Distributed Integrated Modular Avionics System Architecture Design and Implementation[C]//Digital Avionics Systems Conference, 2014
- [28] WANG H, NIU W. A Review on Key Technologies of the Distributed Integrated Modular Avionics System[J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2018, 25(3): 358-369
- [29] WANG Y S, SAVAGE S, LEI H. The Architecture of Airborne Datalink System in Distributed Integrated Modular Avionics[C]//2016 Integrated Communications Navigation and Surveillance, 2016
- [30] GU Q, WANG G, WU J, et al. Dynamic Reconfiguration Mechanism for Distributed Integrated Modular Avionics System[C]//AIAA Aviation Technology, Integration, & Operations Conference, 2015
- [31] HAYRE A, DULL T, MEYN F. The ATF YF-23 Vehicle Management System[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013(368/369/370): 441-444
- [32] MOIR I, SEABRIDGE A G. Management of Utility System in the Experimental Aircraft Programmer[J]. Aerospace, 1986(9): 28-34
- [33] BURKHARD A, DEITRICH R. Joint Strike Fighter Integrated Subsystems Technology, a Demonstration for Industry, by Industry[J]. Journal of Aircraft, 2015, 40(5): 906-913
- [34] 刘巍. 美国国防领域商用现货软件的应用分析[J]. 计算机光盘软件与应用, 2014(4): 73-75
LIU Wei. Application Analysis of Commercial Off-the-Shelf Software in the Field of American Defense[J]. Computer CD Software and Applications, 2014(4): 73-75 (in Chinese)
- [35] GUNETTI P, DODD T, THOMPSON H. A Software Architecture for Autonomous UAV Mission Management and Control[C]//

- AIAA Infotech@ Aerospace Conference , 2013
- [36] 褚文奎, 张凤鸣, 樊晓光. 综合模块化航空电子系统软件体系结构综述[J]. 航空学报, 2009, 30(10) : 1912-1917
CHU Wenkui, ZHANG Fengming, FAN Xiaoguang. Overview on Software Architecture of Integrated Modular Avionic Systems [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2009, 30(10) : 1912-1917 (in Chinese)
- [37] WANG Y, WANG J Y, WANG L. A Transformation-Based Integrated Modular Avionics Software Model Construction Approach [J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 668/669: 343-346
- [38] WANG G. Integration Technology for Avionics System[C]//Digital Avionics Systems Conference, 2012
- [39] NGUYEN T, LIM C P, DUY NGUYEN N, et al. A Review of Situation Awareness Assessment Approaches in Aviation Environments[J]. IEEE Systems Journal, 2019, 13(3) : 3590-3603
- [40] DALINGER I, SMUROV M, SUKHIKH N, et al. Pilot's Situational Awareness and Methods of its Assessment[J]. Indian Journal of Science and Technology, 2016, 9(46) : 1-5
- [41] SIYU Z, WENHAI W, SHENGMING Z, et al. A New Situation Assessment Model for Modern Within-Visual-Range Air Combat [J]. Procedia Engineering, 2012, 29: 339-343
- [42] 朱丰, 胡晓峰. 基于深度学习的战场态势评估综述与研究展望[J]. 军事运筹与系统工程, 2016, 30(3) : 22-27
ZHU Feng, HU Xiaofeng. Review and Research Prospect of Battlefield Situation Assessment Based on Deep Learning[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2016, 30(3) : 22-27 (in Chinese)
- [43] KOOPMANSCHAP R, HOOGENDOORN M, ROESSINGH J J. Tailoring a Cognitive Model for Situation Awareness Using Machine Learning[J]. Applied Intelligence, 2015, 42(1) : 36-48
- [44] SCHNEIDER V, MUMM N C, HOLZAPFEL F. Trajectory Generation for an Integrated Mission Management System[C]//IEEE International Conference on Aerospace Electronics & Remote Sensing Technology, 2016
- [45] JI W F, XU H F, WANG G Y, et al. Path Planning under Dynamic Threat Environment[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 543/544/545/546/547: 1790-1794
- [46] FU X, GAO X. Effective Real-Time Unmanned Air Vehicle Path Planning in Presence of Threat Netting[J]. Journal of Aerospace Information Systems, 2014, 11(4) : 170-177
- [47] KAMYAR R, TAHERI E. Aircraft Optimal Terrain/Threat-Based Trajectory Planning and Control[J]. Journal of Guidance Control and Dynamics, 2014, 37(2) : 466-483
- [48] MAO H, FENG H, ZHANG F, et al. Reconnaissance and Strike Integrated UAV's Path Planning in Autonomous Attack[C]//2016 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference, 2016
- [49] ZHANG Y, CHEN J, SHEN L C. Real-Time Trajectory Planning for UCAV Air-to-Surface Attack Using Inverse Dynamics Optimization Method and Receding Horizon Control[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2013, 26(4) : 1038-1056
- [50] GASPARETTO A, BOSCARIOL P, LANZUTTI A, et al. Path Planning and Trajectory Planning Algorithms: a General Overview [J]. Motion and Operation Planning of Robotic Systems, 2015, 29: 3-27
- [51] RADMANESH M, KUMAR M, GUENTERT P, et al. Overview of Path Planning and Obstacle Avoidance Algorithms for UAVs: a Comparative Study[J]. Unmanned Systems, 2018, 6(2) : 95-118
- [52] THEIS J, PFIFER H, BALAS G, et al. Integrated Flight Control Design for a Large Flexible Aircraft[C]//American Control Conference, 2015
- [53] SCHIERMAN J D, SCHMIDT D K. Analysis of Airframe and Engine Control Interactions and Integrated Flight/Propulsion Control[J]. Journal of Guidance Control & Dynamics, 2015, 15(6) : 1388-1396
- [54] 周思羽, 吴文海, 张楠, 等. 自主空战机动决策方法综述[J]. 航空计算技术, 2012, 24(1) : 27-31
ZHOU Siyu, WU Wenhai, ZHANG Nan, et al. Overview of Autonomous Air Combat Maneuver Decision[J]. Aeronautical Computing Technique, 2012, 24(1) : 27-31 (in Chinese)
- [55] LUO C, WANG J, HUANG H, et al. Integrated Guidance and Control Based Air-to-Air Autonomous Attack Occupation of UCAV [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2016, 9: 1-18
- [56] ZHANG G, JIAN W, ZHI L, et al. A Integrated Vehicle Health Management Framework for Aircraft-A Preliminary Report[C]//Prognostics & Health Management, 2015
- [57] 常琦, 袁慎芳. 飞行器综合健康管理(IVHM) 系统技术现状及发展[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(11) : 2652-2657
CHANG QI, YUAN Shenfang. Overview of Integrated Vehicle Health Management(IVHM) Technology and Development [J].

- Systems Engineering and Electronics , 2009 , 31(11) : 2652-2657 (in Chinese)
- [58] LI X , WANG H , YONG S , et al. Integrated Vehicle Health Management in the Aviation Field [C] // Prognostics & System Health Management Conference , 2017
- [59] HEATON A , VERMA R , FAN I S , et al. Defining Integrated Vehicle Health Management Requirements for Unmanned Aircraft Using a QFD Approach [C] // AIAA Infotech , 2013
- [60] 吴文海,张源原,周思羽,等. 飞行员助手项目综述[J]. 航空学报, 2016, 37(12) : 3563-3577
WU Wenhai , ZHANG Yuanyuan , ZHOU Siyu , et al. Overview of Pilot's Associate Program [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica , 2016 , 37(12) : 3563-3577 (in Chinese)
- [61] 吴文海,张源原,刘锦涛,等. 新一代智能座舱总体结构设计[J]. 航空学报, 2016, 37(1) : 290-299
WU Wenhai , ZHANG Yuanyuan , LIU Jintao , et al. Overall Architecture Design of New Generation Intelligent Cockpit [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica , 2016 , 37(1) : 290-299 (in Chinese)
- [62] MAXWELL K , DAVIS J. Artificial Intelligence Implications for Advanced Pilot/Vehicle Interface Design [C] // Digital Avionics Systems Conference , 2013
- [63] XIE X , CHENG H. Object Detection of Armored Vehicles Based on Deep Learning in Battlefield Environment [C] // International Conference on Information Science & Control Engineering , 2017
- [64] 金欣. 指挥控制智能化现状与发展[J]. 指挥信息系统与技术, 2017(4) : 10-18
JIN Xin. Status and Development of Intelligent Command and Control [J]. Command Information System and Technology , 2017 (4) : 10-18 (in Chinese)

Overview of Integrated Vehicle Management System

WU Wenhai , GUO Xiaofeng , ZHOU Siyu

(Department of Aviation Control and Command , Qingdao Branch , Naval Aeronautics University , Qingdao 266041 , China)

Abstract: Under the modern high-tech condition , the demand of air combat has been stricter on the combat performance and the integration of fighter , which impels the application of integrated vehicle management technology and makes it become the core technology of the advanced fighter about the mission management and vehicle management. From an overview of tactical flight management system's technical background and the state of development , this paper systematically introduces the issues , including the development process & history , architecture framework of the integrated vehicle management system (IVMS) which divided into perception layers , decision layer and execution layer , and function system architecture and software system architecture. Through a comprehensive analysis for the functions of each level , comprehensively expounds the basic function and key technology of IVMS which included situation awareness and assessment , mission path planning , integrated navigation , automatic attack guidance , health management and prognostic and intelligent pilot-vehicle interface , and the future development directions are also discussed.

Keywords: integrated vehicle management system; development background; system architecture; basic function

© 2019 Journal of Northwestern Polytechnical University.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) , which permits unrestricted use , distribution , and reproduction in any medium , provided the original work is properly cited.