

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2019.01.006

民机显示系统架构与控制逻辑的设计研究

The Architecture and Control Logic Design of Civil Aircraft Display System

朱尧植 / ZHU Yanzhi

(中国航空无线电电子研究所, 上海 200241)

(China National Aeronautical Radio Electronics Research Institute, Shanghai 200241, China)

摘 要:

民用航空电子技术的快速发展给民机显示系统架构和控制逻辑提出了新的挑战,在下一代航空运营体系需求的牵引下,从系统设计角度分析民机显示系统架构与控制逻辑,剖析了目前主流的民机显示系统控制逻辑,从显示器单元、控制装置以及显示系统架构等方面深入分析和比较了“硬菜单控制”“常规控制板控制”“软菜单控制”“软菜单+综合控制板控制”以及“触摸控制”等显示系统控制逻辑的特点与优劣,提出了面向下一代大型客机的显示系统架构和控制模式,给民机显示系统的架构设计提供借鉴,并对智能化的驾驶舱显示系统提出展望。

关键词: 显示系统; 架构设计; 控制逻辑; 软菜单控制; 触摸控制

中图分类号: V243.6

文献标识码: A

OSID:



[Abstract] The rapid development of civil aviation electronic technology has brought new challenges and demands to architecture and control logic of the civil aircraft display system. Under the traction of the next generation of aviation operation system needs, we analyzed civil aircraft display system control logic from the perspective of system design, and the current mainstream civil aircraft display system control logic deeply. From display unit, control device as well as the architecture of display system and so on, we analyzed and compared the characteristics and pros and cons between “hard menu control”, “common panel device control”, “soft menu control”, “soft menu plus integrated panel control” and “touch screen control”. This paper provides a reference and design idea for the display system of the next generation large passenger aircraft, and puts forward the prospect of intelligent cockpit display system.

[Keywords] display system; architecture design; control logic; soft menu control; touch screen control

0 引言

伴随着民用航空电子新技术的迅猛发展,加之 FAA (Federal Aviation Administration, 美国联邦航空局)、欧盟相继发布 NEXTGEN 和 SESAR 等下一代航空运营体系的规划^[1],在强烈的需求牵引下,民机显示系统面向更大的显示单元、更开放的系统架构以及高安全性设计等方面发展^[2],给机载设备制造商、航空公司以及飞行员带来前所未有的全新体验。在此背景下,民用飞机显示系统的控制逻辑也跟随系统架构的更新而不断发生变革,显示系统控制逻辑逐步从单一点对点控制,往

综合化、智能化、多种交互控制模式结合的方向发展。

驾驶舱显示系统的控制逻辑主要指显示系统对显示单元、辅助控制装置、视景系统等外场可更换单元能够正常工作的综合调度、数据处理控制,以及对显示画面的切换控制、内外交联系统的参数设置等相关的一系列控制操作的集合。显示系统的控制逻辑关系到飞行员能否对当前复杂而多样的飞行环境作出及时判断并给出有效飞行控制操作,这将起到十分重要的作用,良好的显示控制逻辑能够大幅提升飞行员获取态势感知的能力。

1 显示系统架构与控制逻辑的演变

驾驶舱显示系统控制逻辑的变革往往跟随航空电子系统架构技术的升级换代。模块化航空电子系统主要由三种发展形式,在不同的模块化航空电子系统架构体系下,产生不同形式的显示控制逻辑^[3]。

第一种架构是主要采用了模块化综合航空电子系统设计技术,由机架集成商提供功能软件,将传统的外场可更换单元(line replaceable unit,缩写为 LRU)通过小型化设计使其成为外场可更换模块(line replaceable module,缩写为 LRM),在同一机柜内实现模块间的综合,采用专用的底板总线,封闭的机架和机箱结构^[4]。国外产品中的典型代表为波音 777 飞机的综合航空电子系统。而国内产品中,AC313 系列直升机以及 AG600 飞机均采用这种模块化航空电子系统的设计技术。在这种架构下,显示系统的控制能力较为集中,往往采取封闭的处理机或者具备进行数据收发、显示调度等相关控制能力的机柜结构,而根据显示内容的差异以及显示内容多少等因素,辅助以显示器单元周边键、旋钮或者功能相对单一的显示控制装置的形式实现信息画面的调度切换、信息输入源的切换等操作控制。

该架构下,有两种典型的显示系统控制逻辑模式,一种为“硬菜单控制模式”,显著特点为显示画面调度依靠显示器的周边键,而显示系统没有控制板的相关装置;另一种为“常规控制板控制模式”,主要特征为显示系统具备各类功能的控制装置,来实现显示画面调度。

第二种架构主要采用模块化综合航空电子系统结构,由机架集成商和专业模块供应商提供功能软件,并进行部分功能综合,采用专用底板总线和部分开放式机架或者机箱结构,实现了物理综合和部分功能综合,具有企业专利保护的“封闭性”^[4]。国外产品中典型代表有霍尼韦尔的 Primus Epic 系统,柯林斯公司的 Proline21 系列等^[5]。在国内相关飞机中,西飞公司研制的 MA600 型机中采用 Proline21 综合航空电子系统。在这种架构下,显示系统的控制逻辑较前一种架构具有几个典型的特点:(1)通过单一地增加显示器单元周边键的形式已无法满足越来越多的显示信息以及复杂画面的调度操作需求,因此 Proline21 显示系统中加入了软菜单的形

式,摒除了显示器单元的周边键操控模式;(2)保留多种常规控制面板,对控制面板装置的功能进行了部分综合,减少控制面板装置的种类和数量。因此,在该类型架构下的显示系统控制逻辑叫做“软菜单+常规控制板控制模式”。

第三种架构航空电子系统采用开放式体系架构以及统一的机载数据网络交换技术,具有“开放式”的特点,I/O 统一布局以及信息进行综合管理,系统资源得到高度共享,实现物理综合和功能的高度综合^[5]。典型代表有 GE 公司为波音 787 研发的 IMA 平台以及泰雷兹公司为 A380 研发的 IMA 综合模块化航空电子系统^[6]。国内产品中,西飞公司研制的新舟 700 飞机引进柯林斯公司 Proline Fusion 产品也属于 IMA 架构的航空电子系统产品^[7]。目前中国商飞公司承担研发的国产民用客机 C919 飞机上也配备 IMA 架构的综合模块化航空电子系统。在这种架构下,显示系统采用显示软菜单为主,辅助多种综合显示控制装置为辅的控制模式,来实现显示系统数据的交互与处理,显示控制装置功能进一步综合与优化,充分实现数据的共享,极大促进数据交互的及时性和可靠性。具备上述架构特点的显示系统控制逻辑叫做“软菜单+综合控制板控制模式”。

目前,触摸屏控制已在电子设备行业得到长足的实践与运用,在公务机和高端机型显示系统中,国外先进航电系统设备制造商已开展了初步尝试,柯林斯公司的 Proline Fusion 换代升级产品和佳明公司 G5000H 产品都已成功上线了触屏控制功能^[8],具备触摸控制功能将成为民机显示系统未来发展的方向,将这种控制逻辑叫做“触摸控制模式”。

2 显示系统主流控制逻辑分析

2.1 硬菜单控制模式

“硬菜单控制模式”,即以显示器单元周边键和功能相对简单的综合控制单元为主,具备单独的显示控制处理单元,进行数据集中采集和处理、显示画面调度等操作的控制模式。该类型显示系统的控制模式主要应用于早期小型民用飞机、小型通用飞机、民用直升机等机型上,由于需要实现的功能单一,将辅助控制的控制板进行了简化。

如图 1 所示的“硬菜单控制模式”的控制逻辑图,显示器单元非 SMART 显示器,只接收绘图数据

或者视频图像,具备显示周边键,用于显示画面切换选择;显示控制单元的操作控制主要针对飞行计划相关的操作输入,包括飞行计划制定、航路点修改、增加\删除航线、直飞等操作的快捷控制。显示处理单元作为“硬菜单控制模式”架构下的中枢和大脑,一方面负责显示画面数据的采集和加工处理,另一方面负责显示器单元画面和显示控制单元画面的调度和管理,显示处理单元与显示器单元以及显示控制单元之间常采用“一对一”的数字总线,如 ARINC429 或者 RS422 总线互联。

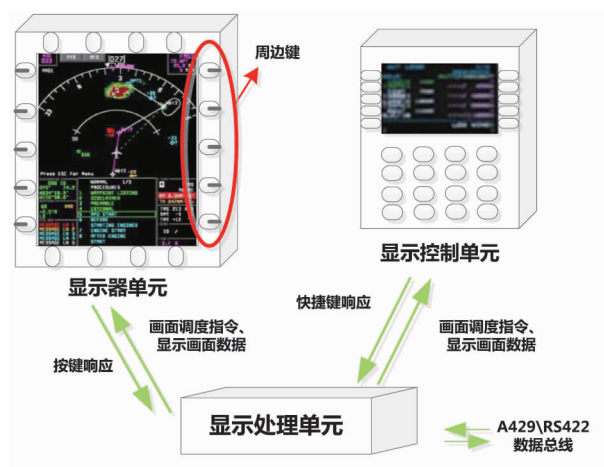


图1 “硬菜单控制模式”逻辑示意图

2.2 常规控制板控制模式

如图2所示,“常规控制板控制模式”,即以多种常规控制板和多功能显示控制单元等装置为主,同样具备单独的显示控制处理单元,进行数据采集与处理,通过控制板和多功能显示控制单元的操作,实现数据交互、参数设置、显示画面切换等功能的控制模式。该类型显示系统的控制模式主要应用于中大型民用、通用飞机上,是典型的联合式航空电子系统架构为主的控制逻辑。

“常规控制板控制模式”下的显示器单元为非SMART显示器,同样只接收绘图数据信息或者视频图像,通过各个功能的控制板装置来实现显示画面的切换以及对参数进行设置等操作,“常规控制板控制模式”可以认为是“硬菜单控制模式”的一种升级实现,利用多种控制板来替代显示器周边键的控制,有效提升显示画面的切换效率和便捷性,多功能显示单元集成更丰富的功能,具备独立的快捷按钮区、字母键区、数字键区等,操作上更加清晰,从而改进操控效率。

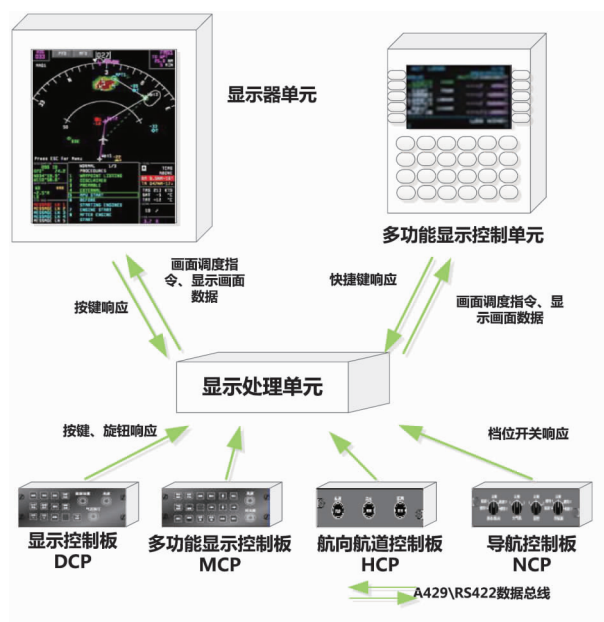


图2 “常规控制板控制模式”逻辑示意图

2.3 软菜单 + 常规控制板控制模式

如图3所示,“软菜单 + 常规控制板的控制模式”以常规控制板控制结合显示画面软菜单形式,结合多功能显示控制单元,替换显示器周边键控制的控制模式。该种控制模式下显示画面信息更加丰富,同时具备集成的综合显示处理单元,物理架构上进一步综合,是模块化综合航空电子架构的一种典型体现。

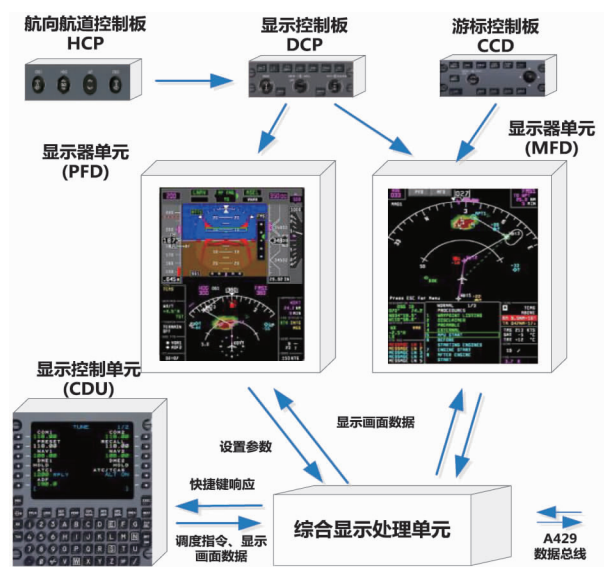


图3 “软菜单 + 常规控制板控制模式”逻辑示意图

“软菜单 + 常规控制板的控制模式”下的显示器单元通常为 SMART 显示器,具备一定的数据处

理和画面调度的功能,接收控制板的控制消息、菜单响应指令,以及综合显示处理单元的外系统数据进行画面显示。显示控制单元具备更强大的功能、控制板快捷键的设置更加符合标准规范,能接收和处理的外系统数据也进一步丰富。

2.4 软菜单 + 综合控制板控制模式

“软菜单 + 综合控制板的控制模式”,该控制模式是目前开放式航空电子系统架构体系下的主要模式,利用成熟的显示单元和机载数据网络总线,将多功能显示控制单元与常规控制板进行部分功能综合,同时利用大屏显示单元的优势,结合多种形式的软菜单,利用开放式的数据网络总线架构,数据的交互和共享能力大大增强,满足多应用、多系统数据的综合显示需求,促进飞行员人机工效水平的改善。该类型控制逻辑目前在大型民用客机、通用飞机上得到普遍使用。

如图4所示,“软菜单 + 综合控制板的控制模式”下显示器单元通常为 SAMRT 智能显示器,具备强大的数据收发和处理能力,运用开放式数据网络架构,信息交互量大大提升。基于大屏幕显示控制,控制板功能更加集中,使用新型游标以及多功能键盘的形式替换常规控制板以及显示控制单元,飞行员操控效率进一步提升。

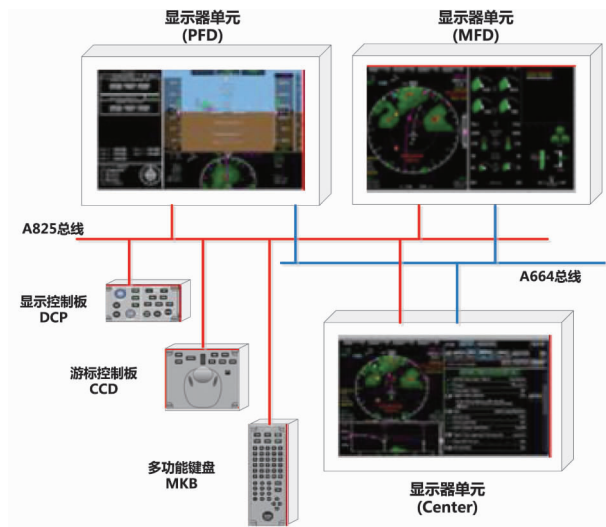


图4 “软菜单 + 综合控制板控制模式”逻辑示意图

2.5 触摸控制模式

“触摸控制模式”是一种以显示单元的触摸控制为主,基于显示软菜单的控制模式,触摸控制可以应用在显示系统数据收发和显示、飞行计划制定、参数设置、显示页面切换等多重操作,触摸控制技术已

在公务机上进行了成功的实践^[9],以触摸控制为主的控制逻辑将逐步取代以传统的控制装置为主的控制逻辑。

如图5所示,“触摸控制 + 备份控制装置的控制模式”是未来民用飞机显示系统控制模式发展的趋势。通常具备高度智能化的显示器单元,基于更加开放的网络数据结构,显示系统处理数据的能力进一步提升和强化,使飞行员的人机工效水平得到质的飞跃^[10]。这种模式下常配备若干功能的综合控制装置,以提升显示器整体的安全性和可靠性。

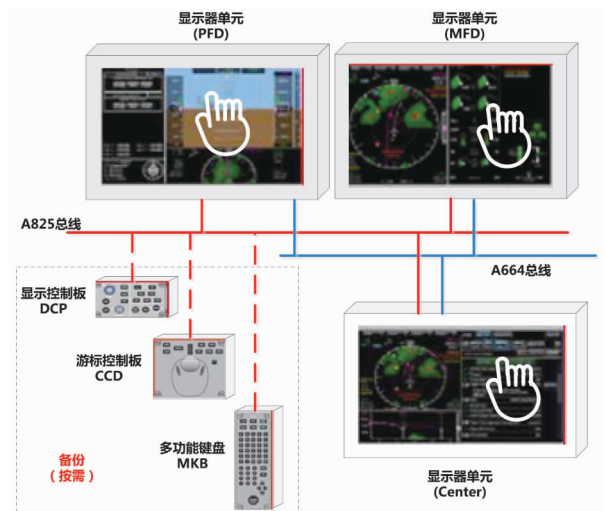


图5 “触摸控制 + 备份控制装置控制模式”逻辑示意图

2.6 人机工效分析

从上述五种控制逻辑的实现原理出发,可以归纳为三大类,分别是硬菜单模式(模式1)、软菜单模式(模式2)和触摸控制模式(模式3)。从显示信息量、操控复杂度、技术成熟度、安全性以及人机工效水平等方面对三种控制模式的进行评分和比较,见表1所示。

表1 三大类控制模式综合评价表

控制模式	显示信息量	操控复杂度	技术成熟度	安全性	人机工效	总分
模式1	3	2	5	5	1	16
模式2	4	3	4	4	3	18
模式3	5	5	3	3	4	20

注:每一项目评分从1~5,5分为最优。

表2中梳理了三大类控制模式的典型特征和主要优缺点,以新增具有A点(121.48,31.22)、B点(118.73,32.04)2个航路点的飞行计划为例,比较

三种控制模式之间的操作负荷,如表 3 所示。

表 2 三大类控制模式对比表

控制模式	控制方式	显示单元特点	控制装置特点	优点	缺点
模式 1	以控制板控制为主	1. 数据接收 2. 显示画面	1. 功能相对单一的显示控制单元 2. 各类型常规控制板 3. 依赖显示处理单元集中控制	各控制板功能清晰	LRU 数量多,操作量大
模式 2	以软菜单结合控制板为主	1. 响应指令 2. 数据接收 3. 画面调度管理 4. 软菜单	1. 功能完备的显示控制单元 2. 各类型常规控制板 3. 显示处理单元功能部分综合	菜单清晰、信息量大	操作复杂度随着菜单和数据量增加而增加
模式 3	以触摸控制为主	1. 响应指令 2. 数据接收 3. 画面调度管理 4. 软菜单 5. 触屏控制特性	1. 用触摸显示单元替代传统的显示控制单元 2. 控制板仅作为触屏控制的备份 3. 显示处理单元,功能高度综合	菜单丰富,操作过程简化、效率提升	可靠性、安全性上有待验证,考验冗余设计和 HMI 设计

表 3 飞行计划输入示例对照表

操作项	模式 1	模式 2	模式 3
1. 选择飞行计划页面	按键 1 次	按键 1 次	触屏 1 次
2. 选择新建飞行计划	按键 1 次	旋钮 1 次	触屏 1 次
3. 选择新增航路点	按键 1 次	按键 1 次	触屏 1 次
4. 选择第一个航路点	按键 1 次	按键 1 次	
5. 输入航路点经度信息	按键 7 次	旋钮 2 次 按键 1 次	4 ~ 6 项,滑动并触屏取点,不超过 4 次
6. 输入航路点纬度信息	按键 6 次	旋钮 2 次 按键 1 次	
7. 输入航路点一确认	按键 1 次	按键 1 次	触屏 1 次
8. 选择第二个航路点	按键 1 次	按键 1 次	
9. 输入第二个航路点经度信息	按键 7 次	旋钮 2 次 按键 1 次	8 ~ 10 项,滑动并触屏取点,不超过 4 次
10. 输入第二个航路点纬度信息	按键 6 次	旋钮 2 次 按键 1 次	
11. 输入航路点二确认	按键 1 次	按键 1 次	触屏 1 次
12. 点击飞行计划确认	按键 1 次	按键 1 次	触屏 1 次
共计	34 次	20 次	14 次

通常意义上,从效率和工效角度来评判:按键 < 旋钮 < 触屏;从表 3 可看到,从操作量和复杂程度来评判:模式 3 < 模式 2 < 模式 1;与此同时,操作工序的减少能进一步简化操作流程,显著降低飞行员的操作负荷,降低出错的几率,因此,运用触摸控制模式的显示系统能有效提升用户体验和人机工效水平。

3 下一代显示系统架构和控制逻辑设计

面对越来越复杂的运营环境,在等效目视运行、场面引导、座舱交通信息显示等新应用以及大量信息的显示需求牵引下,下一代大型客机将采用更大显示面积的显示器(譬如 20 in 以上),以及更高效实用的控制模式。

结合这些需求和技术发展趋势,针对下一代显示系统提出了如图 6 所示的架构和控制逻辑。下一代显示系统以三个大屏幕显示器作为主要显示介质,负责飞行信息和其他复杂信息的显示功能,以 ARINC664 总线作为数据传输和交换的载体,承担与外系统之间的数据交互,并结合 ARINC818 总线作为视景图像的主要传输载体。而且随着触摸应用可靠性的提升,显示系统对传统控制装置功能的依赖度将逐步降低,最终将实现完全的触摸控制,手势识别、多点触控、显示应用自主选择等操作将逐步实现。

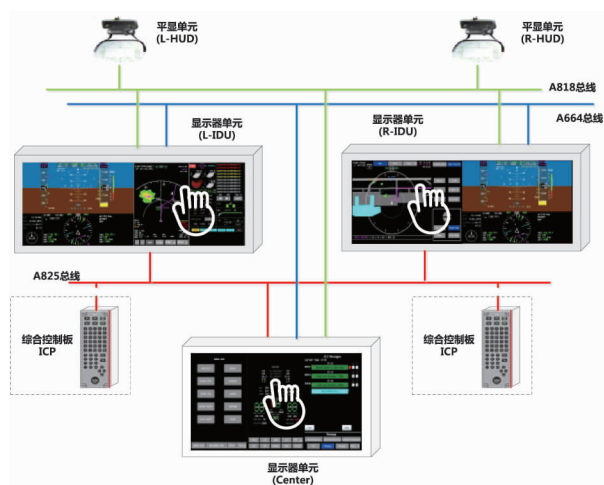


图 6 下一代显示系统架构与控制逻辑示意图

3.1 可行性分析

触屏操控已在消费电子领域得到了广泛应用,在目前航空电子系统领域,触摸控制已在公务机以及先进民用客机上得到成功实践。柯林斯公司的 Proline Fusion 航电产品也已升级触摸功能,佳明公司的 G5000 航电系统给先进的民用直升机提供可

选择的触摸配置。优异的操控体验,更加丰富和直观的视觉感受,使大屏触摸的控制方式将在下一代显示系统中逐步获得青睐。

3.2 安全性设计

相比下一代显示系统提供更丰富的显示信息和全新的控制形式,在显示系统设计时应充分考虑大屏触摸形式的安全性相关措施。出于增加系统安全性的考虑,对下一代显示系统架构和控制逻辑进行了优化,主要有以下两个方面:

其一,三台大屏幕显示器均采用分屏显示技术,大屏幕显示器具备分屏显示处理的能力,可根据显示区域和信息的重要程度,对显示器进行分屏显示操作,如图7显示。左/右显示器显示 PFD(Primary Flight Display,主飞行显示)和两个 MFW 窗口(或一个 MFW 和一个 EI 窗口;多功能窗口, multi-function window, 缩写为 MFW;发参和机组告警信息, engine indication and crew alerting, 缩写为 EI/EICAS), EI 可以在左显示器最右侧窗口和右显示器最左侧窗口中切换显示;中央显示器显示三个 MFW 窗口。MFW 窗口可以显示导航页面 ND(navigation display, 导航信息)、机场移动地图页面 AMMD(airport moving map display)、简图页 SYN(synoptic page)、电子检查单 ECL(electronic check list)和飞行员数据链通讯 CPDLC(controller pilot data link communications)。

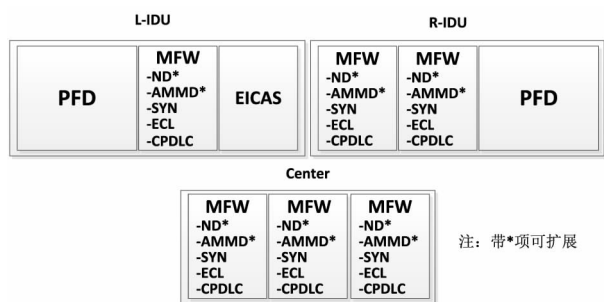


图7 下一代显示系统分屏显示示意图

其二,预留综合控制板作为触摸控制输入的备份。下一代大型客机的显示系统仍将传统控制装置作为触摸控制模式的备份,备份控制装置的功能将根据用户的需求进行定义。

4 结论

随着显示器智能化程度的增加,结合软菜单的使用,使显示画面的数据量得到大幅提升;跟随航空

电子系统架构的升级脚步,运用开放式架构、统一的机载数据网络交换技术以及 SMART 显示器成为当下以及未来主流;面对未来航空运营体系提出的新要求,智能化的驾驶舱显示系统逐渐进入大众视野,触摸控制、语音识别控制等新型控制模式得到不断实践,智能化的驾驶舱显示系统将颠覆传统的显示控制逻辑。

本文从显示系统架构设计的角度出发,深入分析了目前主流的显示控制逻辑方式,对主流的显示控制逻辑进行了优缺点分析,对面向下一代航空运营体系的智能化显示系统架构设计进行了展望,提出了面向下一代大型客机显示系统的架构和控制逻辑。与此同时,在不断关注新显示控制模式应用下,更应该对新显示控制模式在 HMI 布局、安全性设计、显示重构处理、防误操作等方面设计得到更多的关注。

参考文献:

- [1] 高海超,吴嘉慧. 欧美下一代空管系统规划对比分析及启示[J]. 指挥信息系统与技术,2017,8(4):83-87.
- [2] 裴宇. 航空电子系统技术及其发展方向分析[J]. 电子世界,2014(18):37.
- [3] 王国庆,谷青范,王森,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.
- [4] 邢逆舟. 基于模型的综合化航电系统资源配置安全性分析与研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2015:8.
- [5] 李军生,李京生. 民机综合模块化航空电子系统及其发展[J]. 航空制造技术,2013(19):42-45.
- [6] INDRIYANTO T, HARTALITA H. Affordable and reliable avionics architecture design for advanced regional turboprop aircraft[J]. Applied Mechanics and Materials, 2016, 4225(842).
- [7] CROFT J. Bombardier delivers its new vision for globals[J]. EN,2012,181(5338).
- [8] WOODROW III B. Cockpits next generation helicopter[J]. Avionics Magazine,2014,38(2).
- [9] 徐新丽,万会兵. 先进通用飞机航电系统概述[J]. 航空电子技术,2015,46(2):32-35.
- [10] 舒秀丽,王黎静,何雪丽,等. 民机驾驶舱中触摸屏设备应用的工效学探讨[J]. 航空工程进展,2016,7(1):112-119.

作者简介

朱尧植 男,硕士,工程师。主要研究方向:民机航电系统架构设计。E-mail: zhu_yanzhi@careri.com