

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.07.029

引用格式:何进.民用飞机机载监视系统发展综述[J].电讯技术,2014,54(7):1025-1030.[HE Jin. Development Summarization of Airborne Surveillance System for Civil Aircraft[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(7):1025-1030.]

民用飞机机载监视系统发展综述*

何 进**

(中电科航空电子有限公司,成都 611731)

摘 要:民用飞机机载监视系统在飞行过程中为飞行员提供及时准确的气象、地形、交通监视信息和冲突避让建议,以保障飞机的安全航行。介绍了机载监视系统的发展历程与现状,给出了遵循 ARINC 768 标准的新一代综合监视系统架构,并对其主要功能及组成进行了描述,最后对机载监视系统的发展趋势进行了探讨与展望。

关键词:民用飞机;综合化监视系统;体系架构;发展趋势;综述

中图分类号:V243.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)07-1025-06

Development Summarization of Airborne Surveillance System for Civil Aircraft

HE Jin

(CETC Avionics Co.,Ltd.,Chengdu 611731,China)

Abstract:During the flight phase of civil aircraft,the airborne surveillance system provides timely and accurate weather,terrain,traffic monitoring information and collision avoidance advisory to the pilot for safe flight. This paper firstly outlines the development process and current situation of airborne surveillance system and demonstrates the architecture of new generation Integrated Surveillance System(ISS) which complies to the ARINC 768 standard,then summarizes major functions and components of ISS,finally discusses and forecasts the development trend of airborne surveillance system.

Key words:civil aircraft;integrated surveillance system;architecture;development trend;summarization

1 引 言

面对日益繁忙的民用航空运输环境,如何保障飞机在复杂飞行环境和恶劣气候条件下的飞行安全已成为一个迫切需要解决的课题。波音公司公布的 2002~2011 年全球民用航空重大事故统计表明:可控飞行撞地(CFIT)事故发生 18 起,占全部重大事故中 24%,造成的死亡人数仅次于飞行失控事故;飞机空中相撞事故在各类事故中名列第六位;低空风切变是造成全球飞机致命事故的第七大原因。机载监视系统作为保障民用航空飞行器飞行安全的重要航空电子设备,在飞行过程中为飞行员提供准确

及时的气象、地形、交通监视信息和避让建议,增强其对空中环境的感知能力,减轻飞行员的工作压力和判断失误。

本文从民用航空飞机监视系统发展历程与现状出发,对当今世界民用航空新型飞机普遍加装的综合监视系统架构及特点进行分析,并对机载监视系统的未来发展趋势进行探讨与展望。

2 机载监视系统发展历程

20 世纪 50 年代,监视系统的技术研究起源于美国,伴随着电子技术的飞跃发展,机载监视系统大

* 收稿日期:2014-03-20;修回日期:2014-05-07 Received date:2014-03-20;Revised date:2014-05-07

** 通讯作者:hej@cetca.net.cn Corresponding author:hej@cetca.net.cn

致可分为四个阶段^[1]。

第一阶段是 20 世纪 50 ~ 60 年代,军用安全部门将二战时期使用的敌我识别系统 (IFF) 技术体制公开,被国际民用航空组织 (ICAO) 采纳为空中交通管制雷达信标系统 (ATCRBS),应用于民用空中交通管制流量和跨洋飞行所面临的复杂气象环境的空中交通管制 (ATC),机载设备为 A/C 模式应答机 (XPDR)。以 John S Morrell 的《飞行器的碰撞物理》介绍的基于时间变量的临近飞行器接近速率的防撞算法为理论基础,结合二次雷达 (SSR) 技术体制,开展了交通告警与防撞系统 (TCAS) 的研制工作。同期,也开始了模拟体制机载气象雷达 (WXR) 技术研究。该时期普遍采用抛物面天线、大功率磁控管发射机及模拟信号处理等技术,机载监视设备普遍存在着体积大、重量重、故障率高、可靠性低等缺点。

第二阶段是 20 世纪 70 年代,针对离散寻址信标系统 (DABS) 的研究解决了常规 ATCRBS 存在的大多数系统问题,使用世界唯一地址对被监视飞机进行有选择的询问 (业界常称 S 模式),并以此为理论依据展开了具有地址选择功能的 S 模式应答机的研制工作,通常 S 模式应答机也兼容原 A/C 模式应答机技术体制。交通告警与防撞系统第一代 (TCAS I)、近地告警系统 (GPWS) 和非相参脉冲体制的数字彩色气象雷达等监视设备相继问世。伴随着集成电路和电子计算机等新技术的出现,该阶段监视设备普遍在重量、性能、可靠性等方面相对前一代具有一定的改善。

第三阶段是 20 世纪 80 ~ 90 年代,民用航空电子巨头霍尼韦尔、罗克韦尔·柯林斯和泰雷兹等航空电子系统制造商开展了监视系统的更新换代工作,包括 1993 年推出的具有垂直规避建议功能的交通告警与防撞系统二代 (TCAS II 6.04),1995 年推出的具有数据链功能的 4 级 S 模式应答机,同时,具有前视地形回避和地形显示等功能的增强型近地警告系统 (EGPWS) 和具有湍流、风切变 (PWS) 探测功能的相参体制机载脉冲多普勒气象雷达的问世,使飞机在起飞、航行、着陆阶段更安全。该阶段广泛运用固态功放、大规模可编程器件、高性能微处理器及数字信号处理等新技术,产品的功能、性能、可靠性、维修性、测试性等多方面有了大的进步,独立监视设备至今仍占据较大的市场份额。

第四阶段是 21 世纪初至今,具备“反向逻辑”和新的“调整垂直速度”听觉提示的交通告警与防

撞系统二代最新版本防撞算法 (TCAS II 7.1) 和 S 模式应答机数据链的推广应用,具备地形态势感知和跑道安全保护功能的地形提示与警告系统 (TAWS) 的问世,以及新一代全自动多功能气象雷达的出现,进一步提升了飞行安全。随着大规模数字电路和计算机网络的飞速发展,基于物理级、数据级和告警级等多角度的综合化监视系统产品逐步进入市场,当今世界最先进客机普遍配装了最新的综合监视系统产品,开启了民用飞机机载监视系统领域革命性创新。

3 机载监视系统现状

目前传统的机载监视系统主要包括 TCAS、XPDR、TAWS、WXR 4 类分立设备,世界上主要航空电子系统厂商罗克韦尔·柯林斯、霍尼韦尔和 ACSS 公司研发生产的各种型号独立监视设备通过了波音或空客公司的适航认证,广泛配装于各系列机型。特别是霍尼韦尔公司作为在国际民用运输航空飞机市场具有垄断地位的 TAWS 产品供应商,开发了 9 大系列 30 余种规格的产品,新一代产品增加了自动拉起功能,进一步提升了在复杂地形环境中的飞行安全。

作为在全球航空电子领域具备大型飞机先进机载综合监视系统总体设计和综合能力的大型公司,罗克韦尔·柯林斯、霍尼韦尔和 ACSS 公司利用其在传统独立监视设备研制的成功经验和深厚技术积淀,在系统集成及新技术开发应用上拥有绝对技术优势,在业界具有垄断地位。罗克韦尔·柯林斯公司开发的综合监视系统包括 TSS-4100 与 ISS-2100,TSS-4100 将 TCAS、XPDR 和交通计算机 (广播式自动相关监视 ADS-B IN 应用) 等功能综合一起,而 ISS-2100 是一种可配置的综合监视系统,集成了 TCAS、XPDR、交通计算机、WXR、TAWS 等功能,可根据客户需要灵活配置。霍尼韦尔公司研制的 AESS 与 ISS-2100 非常类似,也是将 WXR、EGPWS、TCAS、XPDR 及交通计算机等功能集成到一起。ACSS 公司在气象雷达方面技术能力比较薄弱,能提供除气象雷达功能之外的综合监视系统产品。目前综合监视系统考虑到民用飞机的安全性、适航性和配置性等方面,除在物理层对 TCAS 和 XPDR 的天线、射频及信号处理进行了综合外,其他功能以分立电路板的形式封装在机箱内,并在数据级实现综合。

国内对民用飞机机载监视系统的理解、研究、应用还处于起步发展阶段。中航工业集团、中国电科

集团、四川九洲电器集团等单位已部分研制出 TCAS、XPDR、TAWS、WXR 等分立设备并投入使用^[2],但相关产品尚不能满足民航飞机适航要求,而在综合监视系统方面尚缺乏集成综合、仿真测试和适航认证能力。大飞机工程、马航事件给我国民机监视系统的发展提供了良好契机,独立设备研制和适航取证将进一步加快,综合监视系统的先期研究和技术储备已有部分厂家及科研院所在开展。

4 综合监视系统分析

目前主流民用运输飞机所采用的分立式监视设备构成的监视系统,其在安全性、可靠性、经济性和维护性等方面已无法满足现代民用飞机发展的更高

层次需求,新一代综合监视系统^[3]应运而生。下面重点对目前最先进大型客机配装的综合监视系统的构型、主要实现功能及体系结构进行分析与探讨。

4.1 综合监视系统构型

机载监视系统是民用飞机航空电子系统的重要组成部分,对飞行器在空域内的飞行活动进行全面监视。新航行系统中,机载监视系统将在保留传统二次雷达机载设备(A/C 模式或 S 模式应答机)的基础上重点发展 1090ES ADS-B IN 应用和综合监视系统(ISS)。美国航空无线电公司(ARINC)2001 年发布的 ARINC 660A《通信导航监视系统/空中交通管理机载电子设计功能配置和推荐构架》中推荐的机载监视系统功能结构框图^[4]如图 1 所示。

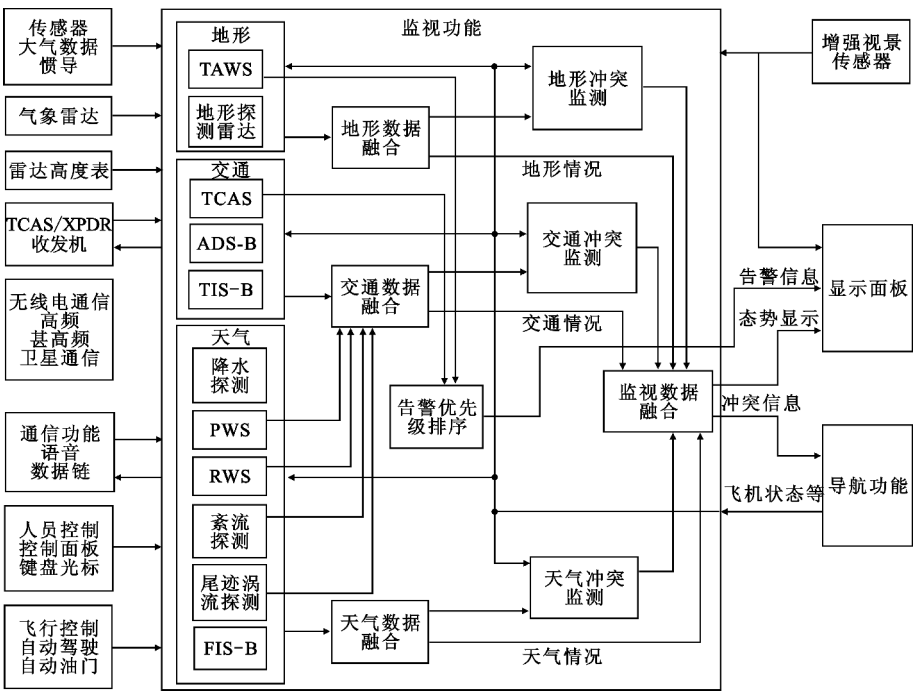


图 1 机载监视系统功能结构

Fig. 1 Functional architecture of airborne surveillance system

当今机载监视系统已不再是传统意义上的单功能“黑匣子”,而是对 TCAS、XPDR、WXR 及 TAWS 等功能进行了综合化设计和数据融合,并根据机型用途、飞行空域、安全要求及成本的不同可实现多种组合与配置,它代表了一种崭新的设计思想、技术潮流和发展方向。ARINC 公司 2006 年发布了 ARINC 768-1《综合监视系统(ISS)》标准^[5],2011 年发布了更新版本 ARINC 768-2^[6]。该标准给出了 ISS 设计规范,定义了 4 种构型的综合监视系统,全球主要航空电子系统供应商根据其自身的技术优势和市场

需求,推出了不同构型的综合监视系统产品。

4.2 综合监视系统主要功能

综合监视系统作为机载航空电子系统主要的传感器和信息源之一,用于飞机起飞、航行和着陆等阶段,以保障飞机的安全航行,为飞行员和乘客提供安全可靠的飞行环境为目的,通过探测航路上的地形与气象信息,规避恶劣气象条件及可控飞行撞地事故,通过监视邻近空域内的交通情况,帮助机组人员对周边空域的交通状况有全面、详细的了解,实现飞机间的空空监视或对地面目标的空地监视,避免飞

机间因间距过近而导致的潜在碰撞威胁,同时配合地面二次雷达询问机,实现合理的空中交通管制。

综合监视系统主要功能包括气象监视、地形监视和交通监视,具体功能如图 2 所示。

气象监视	地形监视	交通监视
- 气象探测(WX) - 湍流探测(TURB) - 预测式风切变探测(PWS) - 地形测绘(MAP)	- GPWS模式1-6告警 - 反应式风切变告警(RWS) - 前视地形回避(FLTA) - 过早下降告警(PDA) - 地形显示(TD)	- A模式、C模式、S模式应答 - 基本监视和增强监视应答 - TCAS交通咨询(TA) - TCAS决断咨询(RA) - 1090ES ADS-B OUT - 1090ES ADS-B IN 处理及应用

图 2 综合监视系统主要功能

Fig. 2 Main functions of the integrated surveillance system

4.3 综合监视系统体系架构

ARINC 768 标准规定的 A 构型综合监视系统主要由综合监视系统处理单元(ISSPU)、气象雷达

天线单元(WRAU)、TCAS/XPDR/ADS-B 复用天线(TSA)、综合控制面板(ICP) 等外场可更换单元(LRU)组成,其原理框图如图 3 所示。

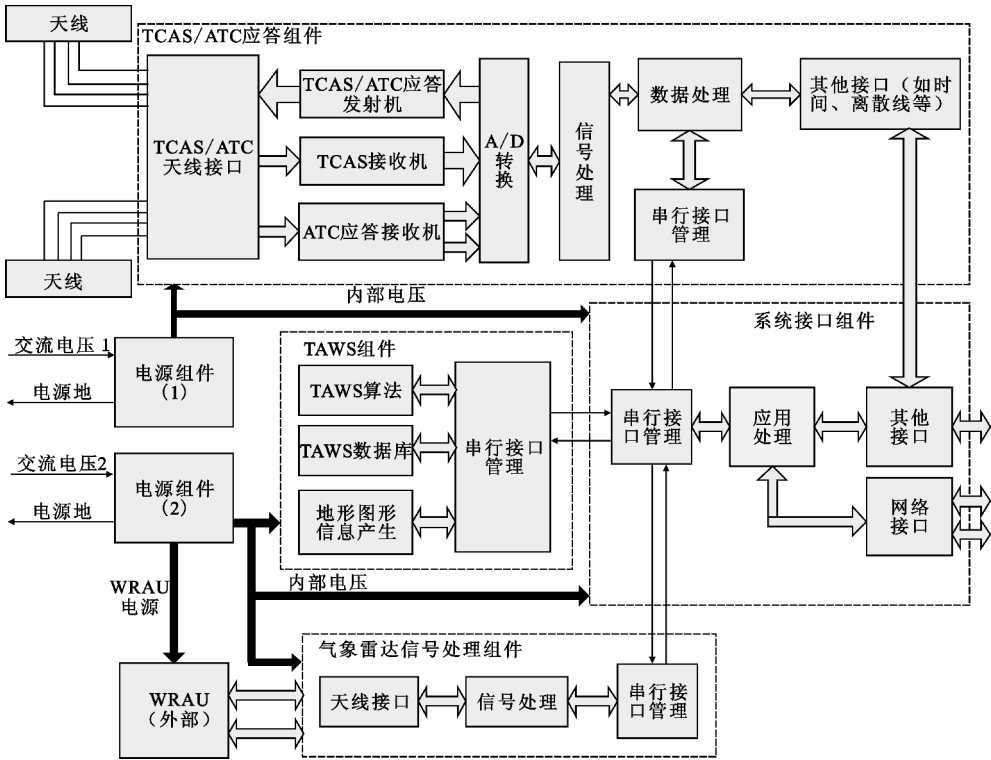


图 3 综合监视系统原理框图

Fig. 3 Schematic diagram of the integrated surveillance system

综合监视系统处理单元主要由电源组件、TCAS/ATC 应答组件、TAWS 组件、气象雷达信号处理组件和系统接口组件组成,主要实现整个综合监视系统的电源供电(电源转换和给 ISSPU 内部组件与外部 WRAU 供电)、TCAS/XPDR 射频处理(含开关网络、共用发射功放及 TCAS 与 XPDR 的各自接收机)、信号处理(含 WXR 信号处理、TCAS 信号处理、XPDR 信号处理)、数据处理(含 TCAS 数据处理、ADS-B IN 应用)与接口通信(数据融合、告警优

先级排序和与外部设备的接口通信)等功能。处理单元使用系统接口组件通过对内部功能组件输出数据与告警信息的综合处理,完成多源信息的数据融合,通过外部接口(通常为 AFDX 总线)与其他航空电子设备交联和通信,向机组人员提供视觉和听觉等多种方式的告警信息。

气象雷达天线单元位于天线罩内,包含有 X 频段(9.3 ~ 9.5 GHz)波导裂缝阵天线、射频收发模块、天线扫描机械控制组件或者使用电子控制组件

以控制天线的扫描带宽、角度、速率、高度与稳定性。新一代气象雷达将收发组件放入了天线罩内,通过电缆(同轴或光纤)将信号传输给 ISSPU 中雷达信号处理组件处理,取消了传统设备中连接 ISSPU 与 WRAU 的波导管,进一步提高了系统可靠性。

根据 TCAS 和 XPDR 的工作机理及使用特性,综合监视系统 TCAS/XPDR/ADS-B 复用天线将传统的 TCAS、XPDR 与 ADS-B 各自独立天线集成复用为两副天线,分别安装于机身顶部与底部中心线上,可根据需要实现载机前、后、左、右约 90°定向波束或全向波束辐射。

对监视系统的控制可通过多种方法实现,通常控制功能可集成于座舱显示控制系统,或者通过一个或多个专门的控制面板实现。单独的控制面板通过总线(ARINC429 总线或 AFDX 总线)与 ISSPU 交换数据,以实现了对综合监视系统的功能控制和参数设置。

5 机载监视系统发展趋势

机载监视系统是飞机航空电子系统中非常重要的子系统之一,对飞机安全运行起着非常重要的作用,未来发展前景不可估量。不仅各个功能具有广阔的发展空间,而且综合监视系统也将应尽可能提供全面与完善的监视能力,深度综合化和高度综合化必是其未来发展趋势。下面重点针对监视功能、深度综合化和高度综合化三个方面的发展趋势进行分析与展望。

5.1 监视功能

监视系统在设计时应充分考虑射频电路和信号处理的扩展能力,数据处理机的计算能力、存储能力与内外部接口适配能力,以满足未来的发展需要。各个功能发展趋势^[6]如下。

(1) TCAS 与 ADS-B 应用^[7]

ADS-B 应用通过指示和告警可增强飞行员对机场场面状况的感知能力,配合使用更高分辨率的数据库使之具备跑道指示与告警功能,以增强飞行员的跑道场景意识;通过改进监视信息使得扩展断续振荡支持飞行间隔管理及其与之相关的尾流危险管理,以便在拥挤的飞行空域内扩大监视范围和监视精度,向机组成员提供 TCAS 与 ADS-B 综合避撞咨询建议、横向/纵向穿越和相关/非相关平行进近能力;ADS-B 各类应用是未来监视系统主要发展方向,目前新型客机装载的综合监视系统已具备部分

ADS-B 应用功能。

(2) TAWS

具备航空数据库功能,通过数据库服务器向其他系统传输地形障碍物数据库信息;通过扩展符合 RTCA DO-272 标准的机场场面特征地形数据库,具备机场场面地图显示能力;具备横向碰撞预测能力,在面对陡峭地形飞机爬升时,向机组成员告警并提供最安全的横向探测以避免不安全地形;具备最终进近安全引导能力和当前航线的预测告警能力;通过改进数据库和提高显示分辨率,提供障碍物图标显示和地形显示工作模式,具备增强地形情景意识和障碍物碰撞预测能力,以及飞行计划地形冲突探测能力。

(3) WXR

利用地形数据库中的信息将雷达回波中来自地面和城市的杂波自动剔除,优化气象显示;面对变化无常的空中气象环境,为了提高气象数据预报的实时性,新一代 WXR 功能应具备气象数据更新处理与综合能力;具备针对净空湍流和尾流的监视、显示与告警能力;具备气象数据信息融合能力,用于湍流信息的显示与告警。

(4) 监视显示

为了增强驾驶舱主飞行显示器对外部飞行环境显示的准确性与直观性,综合监视系统在下一代显示设备中应支持 3D 显示能力,利用虚拟视觉系统将飞行环境参数、地形、障碍、机场与跑道位置转化为立体透视图进行显示。

5.2 深度综合化

深度综合化即在现有的功能和构型下,利用先进技术升级或者扩展现有功能和性能。例如利用智能天线与射频综合技术,将天线、射频收发链路和处理模块等进行功能综合,根据各个功能的物理特性(工作频段、发射功率、接收机特点和信号处理要求等)和工作原理,DME、UAT ADS-B 在天线孔径、射频收发链路、信号处理电路等方面与 TCAS、XPDR、1090ES ADS-B 可统一考虑和一体化设计,最大程度复用相同资源;随着微处理器与大规模集成电路的飞速发展,以及航空电子系统 ARINC653 分区式操作系统技术的成熟应用,针对各个功能数据处理进行深入研究,在综合监视系统中可实现 ADS-B、TIS-B、TAWS、TCAS 数据处理融合等功能集成,按照 ARINC661 显示控制接口协议,通过高速的航空电子全双工以太网(AFDX)技术,提供与座舱显示控制系统的统一接口。目前,罗克韦尔·柯林斯

ISS-2100 和霍尼韦尔 AESS 的综合监视处理单元都预留了两个模块的空间,以供其他功能扩展之用。

5.3 高度综合化

高度综合化即在具有气象、交通、地形监视功能的基础上,通过多传感器融合或者增加交联接口集成其他功能,进一步提升航空电子系统的集成度。从国内外军机和民航运输飞机的航空电子系统演变趋势^[8-10]可看出,民用飞机机载航空电子系统的功能和体系架构也将逐步走向综合化、模块化。随着综合模块航空电子架构(IMA)技术成熟,未来机载监视系统发展方向是在高度综合化的 IMA 架构下,基于天线孔径、射频电路、信号处理、数据处理整个链路和通信、导航等其他航空电子系统统筹考虑和一体化设计,以灵活与可配置为指导思想,严格定义各模块的软硬件资源及接口,便于功能模块的独立开发和适航取证,强调使用相同的硬件模块可实现不同的系统功能,甚至在同一模块中实现多种功能,确保更换或升级部分功能模块软硬件不影响其他未更换或升级模块的稳定运行,实现模块的标准化、系列化、组合化和重用,达到使用少量模块种类,以实现通信、导航和监视功能综合化集成和处理,在不断降低大型飞机航空电子系统及设备成本的同时,进一步提高系统性能以及系统的可靠性和维护性,最大限度地减小飞行员的负担和降低航空公司的运营成本。

6 结束语

机载监视系统作为保障民用飞机航空安全的重要技术手段,其重要性不言而喻。综合监视系统采用一体化设计,实现了机载监视系统物理级、数据级、告警决策级等多个层次的综合,可以实现自身软硬件资源的共享,避免以往过多的数据交互接口,有利于航空电子系统的资源规划,降低航空电子系统集成的复杂度,势必成为未来航空电子系统的发展趋势。综合监视系统体系结构研究作为一项具有实用意义和基础的课题,其研究主线为如何科学有效地进行模块划分和模块化设计,这将是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] 吴良斌,钱君,刘心刚.民用飞机环境综合监视系统及其关键技术分析[J].国际航空,2013(7):61-64.
WU Liang-bin, QIAN Jun, LIU Xin-gang. Civil Aircraft Environment Integrated Surveillance System and Key

Technologies[J]. International Aviation, 2013(7):61-64. (in Chinese)

- [2] 郑超,刘孝华.增强自主创新能力推进国产空管监视系统技术发展[J].空中交通管理,2009(7):12-15.
ZHENG Chao, LIU Xiao-hua. Enhancing independent innovation capabilities to promote the technical development of collision avoidance system for domestic ATM surveillance [J]. Air Traffic Management, 2009(7):12-15. (in Chinese)
- [3] 肖刚,敬忠民,李元祥,等.综合化飞机环境监视系统研究及其数字化仿真测试[J].航空学报,2012,33(12):2279-2290.
XIAO Gang, JING Zhong-min, LI Yuan-xiang, et al. Study on integrated aircraft environment surveillance system and its simulation test[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2012, 33(12):2279-2290. (in Chinese)
- [4] ARINC report 660A, CNS/ATM Avionics, Functional Allocation and Recommended Architectures[S].
- [5] ARINC characteristic 768-1, Integrated Surveillance System(ISS)[S].
- [6] ARINC characteristic 768-2, Integrated Surveillance System(ISS)[S].
- [7] 吕小平.新一代综合航空监视及着陆技术[J].中国民用航空,2010(8):45-48.
LV Xiao-ping. New-generation Combined Aviation Surveillance and Landing Technologies[J]. China Civil Aviation, 2010(8):45-48. (in Chinese)
- [8] 何志强.综合化航空电子系统发展历程及重要支撑技术[J].电讯技术,2004,44(4):1-5.
HE Zhi-qiang. Development and Important Supporting Technology of Integrated Avionics System[J]. Telecommunication Engineering, 2004, 44(4):1-5. (in Chinese)
- [9] 程学军.新航行系统及其在航空电子系统中的应用[J].电讯技术,2009,49(5):101-107.
CHENG Xue-jun. Future Air Navigation Systems(FANS) and its Application in Avionics System[J]. Telecommunication Engineering, 2009, 49(5):101-107. (in Chinese)
- [10] 霍曼,邓中卫.国外军用飞机航空电子系统发展趋势[J].航空电子技术,2014,35(4):5-10.
HUO Man, DENG Zhong-wei. Development Trend of Foreign Military Avionics [J]. Avionics Technology, 2014, 35(4):5-10. (in Chinese)

作者简介:



何进(1974-),男,四川蓬安人,高级工程师,主要研究方向为二次雷达系统设计和设备开发。

HE Jin was born in Peng'an, Sichuan Province, in 1974. He is now a senior engineer. His research concerns secondary radar system design and development.

Email: hej@ cetca. net. cn