

## IMA 架构下民机综合监视系统仿真器设计

何方<sup>1</sup>, 肖刚<sup>1</sup>, 刁海南<sup>1</sup>, 瞿哲<sup>1</sup>, 戴周云<sup>1</sup>, 郭晓燕<sup>2</sup>, 于超鹏<sup>3</sup>

(1. 上海交通大学, 上海 200240; 2. 上海飞机设计研究院, 上海 201210;

3. 中航工业雷达与电子设备研究院, 江苏 无锡 214063)

**摘要:** 对 IMA 架构下的综合监视系统仿真器设计进行研究, 对比传统的联合式综合监视系统结构, 设计了 IMA 架构下的综合监视系统仿真器结构, 给出了从激励器、综合监视系统仿真器到显示与控制端的完整仿真验证平台的具体实现方案, 对 IMA 架构下的综合监视系统进行了基本功能仿真, 验证了仿真器设计方案的合理性和可行性。

**关键词:** 综合监视系统; 综合模块化航空电子; 仿真

**中图分类号:** O213.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-637X(2016)12-0085-05

## Design of Civil Aircraft Integrated Surveillance System Simulator Based on IMA Architecture

HE Fang<sup>1</sup>, XIAO Gang<sup>1</sup>, DIAO Hai-nan<sup>1</sup>, QU Zhe<sup>1</sup>, DAI Zhou-yun<sup>1</sup>, GUO Xiao-yan<sup>2</sup>, YU Chao-peng<sup>3</sup>

(1. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Shanghai Aircraft Design and Research Institute,

Shanghai 201210, China; 3. Research Institute of Radar and Electronic Equipment, Wuxi 214063, China)

**Abstract:** This paper focuses on design of integrated surveillance system simulator based on Integrated Modula Avionics (IMA) architecture. Different from the traditional federated avionics architecture, an integrated surveillance system simulator is designed by using IMA architecture. The implementation scheme for the activator, integrated surveillance system simulator, and the display and control system simulation platform is presented here. Simulation is made to verify the basic function of the integrated surveillance system, and the result shows the rationality and feasibility of the simulator design scheme.

**Key words:** integrated surveillance system; integrated modular avionics; simulation

### 0 引言

机载监视系统作为飞机通信导航与监视系统(CNS)的一部分,是保障飞机飞行安全的重要航空电子设备,它能够提供飞机周围的气象、地形和空中交通状况等信息,增强飞行员对周围环境的感知能力,对危险事故提前给出告警信息,从而保障飞行安全。

机载监视系统主要包括地形感知与告警系统(TAWS)、空中交通警戒与防撞系统(TCAS)、机载气象雷达(WXR)和S模式应答机(XPDR)4个子系统<sup>[1]</sup>,但是传统的分列式或联合式设备在安全性、经济性、可靠性等方面已经无法满足当代民机发展的市场需求,因此,新一代综合监视系统(ISS)应运而生。

综合模块化航空电子(IMA)技术的迅速发展,使

得航空电子系统能够充分利用综合化、模块化和开放式等结构特性,共享一组可变化、可重用、可互操作的软硬件资源,实现资源共享并提升性能,从而顺应航空电子系统不断复杂化的发展趋势,并有效地提升了民用飞机的航电系统的有效性和经济性。

本文叙述了综合监视系统和 IMA 的发展历程,对比传统联合式综合监视系统架构,设计了 IMA 架构下的综合监视系统仿真器,建立了从激励数据输入,到综合监视系统仿真器,再到告警数据输出和显示的完整的仿真测试平台,对 IMA 架构下的综合监视系统进行了基本功能的仿真,验证了综合监视系统仿真器设计方案的合理性和可行性。

### 1 国内外研究现状

#### 1.1 综合监视系统发展历程

空中相撞事故频繁发生使得美国联邦航空管理局(FAA)于1974年推出了基于应答器的机载信标防撞

系统(BCAS),1981年更名为TCAS,随后,其防撞算法不断更新,目前广泛应用的版本为TCAS II 7.1<sup>[2]</sup>。

20世纪60年代频繁发生可控飞行撞地(CFIT)事故。20世纪70年代,近地告警系统被美国国家运输安全委员会推荐使用,1974年FAA强制要求大型客机安装GPWS设备。1996年,美国霍尼韦尔国际公司推出了第二代TAWS设备增强型近地告警系统(EGPWS),增加了前视地形显示和告警等功能<sup>[3]</sup>。

20世纪50~60年代,开始了模拟体制机载气象雷达技术的研究,20世纪70年代研制出了非相参脉冲体制的数字彩色气象雷达设备,和具有预测式风切变和湍流探测功能的相参体制机载脉冲多普勒气象雷达<sup>[3]</sup>。

21世纪以来,霍尼韦尔、罗克韦尔·柯林斯和泰雷兹等国外民用航电系统巨头也不断对机载监视设备进行更新换代。其中,TCAS与广播式自动相关监视技术相结合(ADS-B),TAWS增加了地形态势感知和跑道安全保护等功能,WXR则更新为全自动多功能气象雷达。罗克韦尔·柯林斯公司推出了包含TCAS,XPDR,TAWS和WXR-2100多扫描雷达的可变结构的综合监视系统CISS,装配于波音787飞机。霍尼韦尔公司也推出了类似CISS的系统,包含TCAS,XPDR,TAWS和RDR-4000气象雷达的产品AESS,装配于空客A380飞机<sup>[3-5]</sup>。

在标准制定方面,美国航空无线电公司于2001年发布了ARINC 660A通信导航监视系统/空中交通管理航空电子系统的功能配置和推荐架构;2006年发布了ARINC 768-1综合监视系统,并于2011年更新为ARINC 768-2版本,该标准给出了ISS设计规范,并定义了ISS的4种构型<sup>[1]</sup>。

在国内,民用飞机ISS的研究与应用还处于起步阶段。有些单位已研制出ISS分立式设备,并在军机上加以应用,但这些产品并不能满足民机的适航要求,在系统研制方面缺乏系统集成综合、仿真测试和适航认证的能力。中国商飞研制的ARJ21和C919型飞机上,也直接采用了国外成熟的ISS产品,缺乏完全自主研发的能力。

### 1.2 综合模块化航空电子发展历程

由于激烈的市场竞争,民机制造商不得不想方设法来降低飞机的重量、功耗和研发成本。航空电子系统在飞机中的重要性及其昂贵的研制成本,使其成为优化的首要目标。航空电子系统的结构也从传统的分立式、联合式,不断向综合化方向发展。

20世纪40~60年代,各个航电设备功能相互独立,都有专用的传感器、控制器和模拟计算机,连接到驾驶舱的控制面板,被称为分立式航电结构<sup>[6-8]</sup>。

20世纪60~90年代,高性能的数字计算机开始

大量应用于航空电子系统,并形成了控制中心,其他模拟计算子系统通过转换后与之互联,形成了联合式航电结构<sup>[6-8]</sup>。

20世纪90年代至今,综合模块化航空电子技术逐渐成为民机制造商优化航空电子系统设计的有效方法。

1995年,波音777飞机的飞机信息管理系统首次应用IMA技术<sup>[9]</sup>。传统的外场可更换单元(LRU)在小型化设计之后成为外场可更换模块(LRM),安装于AIMS的两个机柜之中,使用专用高速背板总线SAFE BUS在模块之间通信。每个机柜内可安插11个LRM,包括4个输入输出模块(IOM)和4个核心处理模块(CPM),1个备用CPM和2个备用IOM插槽,如图1所示<sup>[9]</sup>。

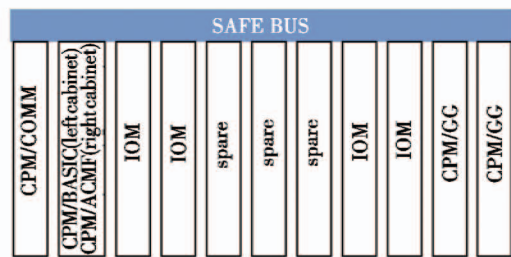


图1 波音777AIMS机柜结构

Fig.1 Architecture of Boeing 777 AIMS cabinet

波音787飞机的航空电子系统的综合化程度较波音777更进一步,其IMA系统主要由通用核心系统(CCS)组成,CCS由通用计算资源(CCR)、远端数据集中器(RDC)和通用数据网络(CDN)组成,安装在2个通过CDN连接的机柜中<sup>[9]</sup>。

法国空中客车公司的A380飞机并没有形成类似波音787的以机柜组成的一个中央处理系统,而是分布式地将各个处理模块布置在机身的各个位置,通过AFDX交换机接入总线网络,并采用标准接口和规范,形成开放式的IMA结构,A380的IMA系统的结构如图2所示<sup>[6,9]</sup>。

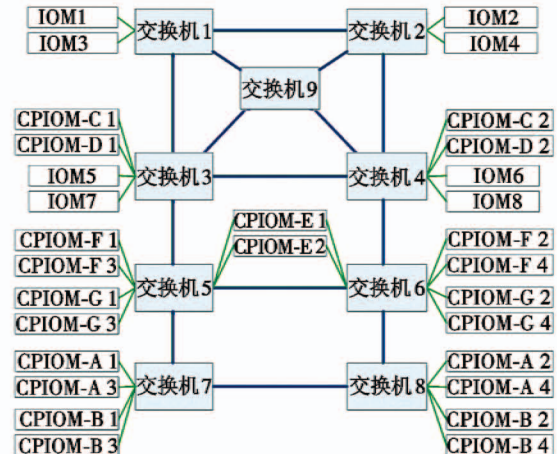


图2 空中客车A380 IMA系统结构

Fig.2 Architecture of Airbus A380 IMA system

## 2 架构设计

### 2.1 传统的综合监视系统结构

ARINC 768 标准给出了 ISS 的不同构型,使得可以对不同机型进行灵活配置,满足飞机对监视功能的需求。以大型民机为例,则需要 A 构型,包含全部的 4 个子系统,主要由 ISS 处理单元 (ISSPU)、WXR 天线单元 (WRAU)、TCAS/XPDR/ADS-B 复用天线 (TSA)、综合控制面板 (ICP) 等 LRU 组成<sup>[2]</sup>。这种构型的综合监视系统仍然属于联合式航空电子系统结构,仅仅对 XPDR 和 TCAS 的天线进行了物理综合,其他功能模块仍封装在 4 个 LRU 中,具有独立的 CPU 和 I/O 等模块,通过 ARINC 429 总线与其他系统相连<sup>[7]</sup>,其原理如图 3 所示。

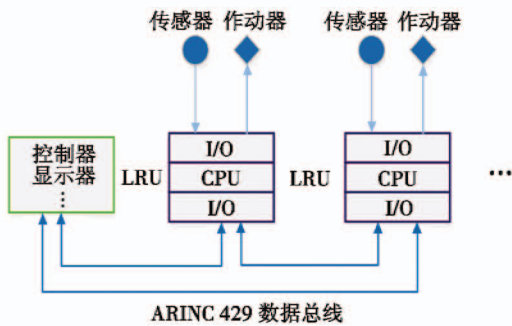


图 3 联合式综合监视系统结构图

Fig.3 Structure of federated ISS

这样的结构阻碍了子系统之间的交互,告警信息得不到有效综合,同时重复使用了相同的功能模块,不能对硬件资源进行有效的使用,大大增加了系统的重量、体积和功耗。

### 2.2 IMA 系统架构

IMA 架构提供一个分区的,供多个航电功能使用的共享计算、通讯的通用处理资源,IMA 有以下几点特性:1) IMA 的软硬件是分层的,软件分为应用层、核心操作系统层和硬件模块支持程序层,降低了各个层次之间的耦合程度,使得应用软件与硬件无关;2) IMA 是一个开放式的架构,其软硬件的各层次之间的接口标准是公开的,比如 ARINC 653 标准所定义的 APEX (Application Executive) 接口,就是应用层与核心操作系统层之间的一个通用接口<sup>[10]</sup>;3) IMA 共用了通信资源,即通过一个高速、高性能、故障容错、确定性的通信网络完成系统间的信息交互,比如全双工交换式以太网 (AFDX)。

IMA 通过 AFDX 数据总线与远程数据集中器 (RDC) 和控制与显示端连接起来<sup>[11-12]</sup>,如图 4 所示。

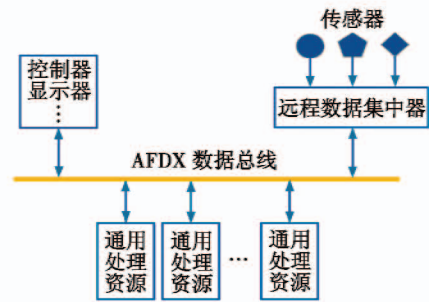


图 4 IMA 系统架构

Fig.4 Architecture of IMA system

### 2.3 IMA 架构下的综合监视系统结构设计

IMA 使得传统的综合监视系统的传感器输入处理、输出接口等模块与信息处理模块分离,并且功能软件化,取代了原来由硬件实现的功能,运行于通用计算设备。

通用计算设备采用 COTS 硬件,运行符合 ARINC 653 标准的分区实时操作系统,整个设备可以分为硬件层、硬件模块支持层、操作系统核心层和应用层,ISS 仿真程序的各个模块运行于应用层的不同分区之中,通过 APEX 接口与底层操作系统相交联。

ISS 仿真器的 WXR,TCAS (包含 XPDR) 和 TAWS 告警模块分别成为单个软件模块,进行告警信息处理。WXR 告警模块对输入的 WXR 天线回波信号进行处理,识别出雨、雪、冰雹等降水目标,以及湍流和风切变等气象目标,给出告警信息,并且以不同颜色的图像标示出不同强度的气象条件,输出到导航显示器上;TAWS 告警模块对输入的大气数据机、惯导、GNSS 等传感器的数据进行处理,进行 GPWS 模式 1~6 的告警判断,输出告警文字并显示信息和语音,同时 TAWS 结合 DEM 地形数据,对飞机前方的地形危险程度进行判断,以不同颜色进行标识,输出图像到导航显示器上;TCAS 告警模块同样通过本机传感器获得自身位置等信息,通过 XPDR 接收其他飞机的位置等信息,进行航迹预测和告警判断,以不同的图行符号标识出不同危险程度的入侵机,输出到导航显示器上,并给出告警文字和语音信息<sup>[4-5]</sup>。

同时,增加了输入数据融合模块,对输入的传感器数据进行融合,提升输入数据的精度和置信度,并提升各模块的告警准确率;还增加了告警信息综合决策模块,对各个告警模块输出的告警信息进行综合处理,并反馈到各个告警模块之中进行迭代,给出优化后的告警信息和规避动作,有效提升对潜在危险环境的检测率。

ISS 仿真器所需的输入数据由激励器产生,激励器使用飞行模拟软件对机内和机外环境进行模拟,并且可以通过动态连接的多个飞行模拟软件模拟出 TCAS 所需

的入侵机信息。

ISS 仿真器的输出数据发送到显示与控制端,使用综合显示仿真软件对导航等显示器进行模拟,显示各个模块的告警信息和图像,通过声卡和音箱播放语音告警,并通过飞行摇杆等操作设备控制飞行模拟器,进行完整的人在回路的仿真。

综上所述,整个仿真器的系统结构如图 5 所示。

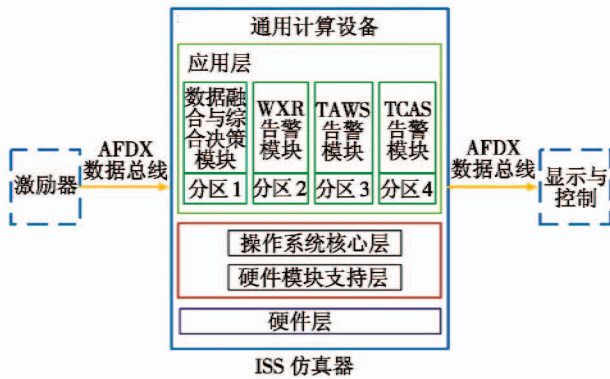


图 5 IMA 架构下的综合监视系统仿真器结构图

Fig. 5 Structure of ISS simulator based on IMA

### 3 仿真实现

综合监视系统仿真验证环境主要包括激励器、原型机 A/B 以及显示控制平台。激励器主要模拟机内和机外环境,为综合监视系统提供激励数据;原型机仿真 IMA 架构下的通用核心处理器,为综合监视系统软件提供软硬件资源,进行资源的分配和分区调度等,原型机包括 A 控制柜和 B 控制柜,为 TCAS 提供双机空中动态测试环境;显示控制平台模拟飞机的显控系统,为综合监视系统的输出数据提供显示平台,同时对激励器和原型机进行操作控制。整个仿真测试环境如图 6 所示。

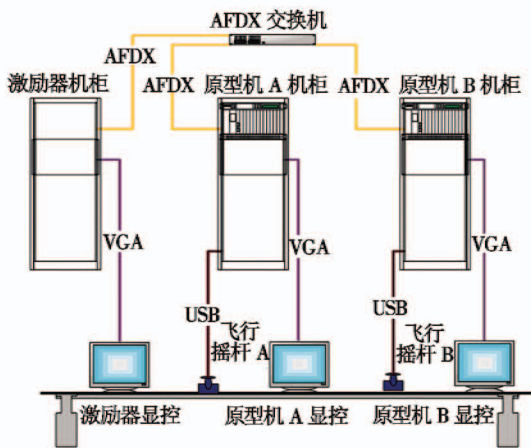


图 6 综合监视系统仿真验证环境

Fig. 6 Simulation and verification environment of ISS

#### 3.1 激励器

激励器采集处理区中大气数据机、无线电高度表

等传感器数据,仿真产生 TCAS 应答机数据以及处理后的 WXR 天线的射频信号回波图像,将综合监视系统所需的信息通过 AFDX 网络总线传递给运行于通用计算设备的综合监视系统软件。

在仿真实验中,本文在 PC 上使用 Microsoft Flight Simulator X 飞行模拟软件对飞机进行仿真。运用 SimConnect SDK 进行二次开发,采集综合监视系统所需的数据,通过进程间通信(Inter Process Communication, IPC)发送数据到激励器处理模块,进行统一封装处理,再发送到综合监视系统功能仿真软件,数据处理流程如图 7 所示。

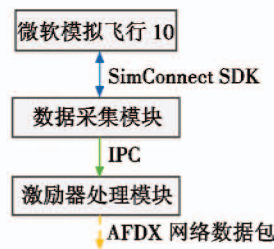


图 7 激励器端数据流向图

Fig. 7 Data flow diagram of the data generator

#### 3.2 原型机 A/B

原型机 A/B 的通用综合处理器使用通用的 CPCI 计算机进行仿真,配备多块主板以模拟硬件上的冗余,配备 AFDX 板卡进行数据通讯。

综合监视系统中的 WXR,TAWS,TCAS 以及告警数据融合模块,以 C++ 代码实现,对激励端输入的数据进行处理,并输出告警信息到显示与控制端<sup>[4-5]</sup>。

ISS 各功能模块运行于不同的分区,保证各软件模块运行过程的独立性,编写资源需求 XML 配置文件,在时间和空间上进行资源分配和调度。

ISS 各功能模块运行流程如图 8 所示。

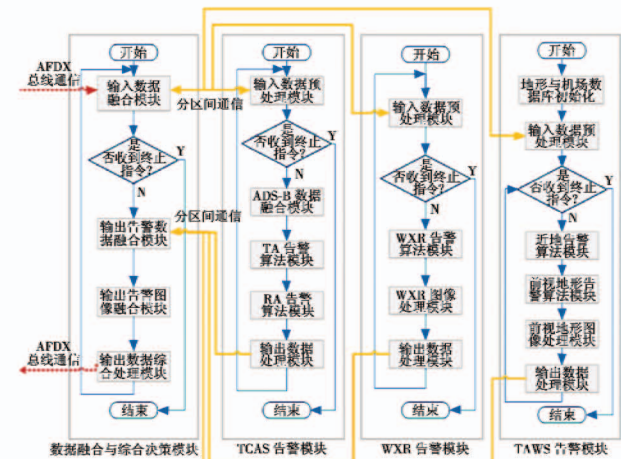


图 8 ISS 仿真程序运行流程图

Fig. 8 Flow chart of ISS simulation program

### 3.3 显示与控制

显示与控制端使用 PC 机模拟飞机的导航显示器 (Navigation Display, ND), 显示 WXR 输出的气象图像、TAWS 的前视地形图像以及 TCAS 的告警符号, 输出相应告警语音, TAWS 前视地形与告警信息如图 9 所示。

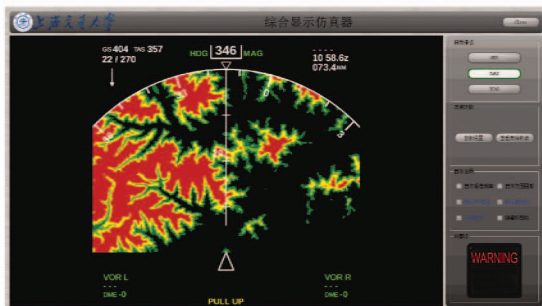


图 9 TAWS 的前视地形与告警信息

Fig.9 Terrain and alert information of TAWS

## 4 结束语

本文简述了传统的民机综合监视系统的结构和 IMA 体系结构, 提出了一种 IMA 架构下的综合监视系统结构设计, 并针对综合监视系统, 从激励器、仿真器到显示与控制给出了具体的仿真实现方案, 对 IMA 架构下的综合监视系统进行了基本功能的仿真, 验证了仿真器设计方案的可行性。其为进一步研究综合监视系统的深层综合 (ADS-B 与 TCAS 综合, 告警信息综合决策等), 以及研究综合监视系统的新功能 (跑道监视等) 打下坚实的基础, 为民机综合监视系统国产化做出一份贡献。

### 参考文献

- [1] Airlines Electronic Engineering Committee. Integrated Surveillance System (ISS), ARINC characteristic 768-1 [Z]. Annapolis, Maryland, Aeronautical Radio Inc, 2006.
- [2] KUCHAR J E, DRUMM A C. The traffic alert and collision avoidance system [J]. Lincoln Laboratory Journal, 2007, 16(2):277-296.
- [3] 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 J. Development Summarization of airborne surveillance system for civil aircraft [J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(7):1025-1030.
- [4] 朱文渊, 李元祥, 马进, 等. 飞机环境监视系统的数字仿真 [J]. 电光与控制, 2011, 18(9):64-68. (ZHU W Y, LI Y X, MA J, et al. Digital simulation of aircraft environment surveillance system [J]. Electronics Optics & Control, 2011, 18(9):64-68.)
- [5] 肖刚, 敬忠良, 李元祥, 等. 综合化飞机环境监视系统研究及其数字仿真测试 [J]. 航空学报, 2012, 33(12):2279-2290. (XIAO G, JING Z L, LI Y X, et al. Study on integrated aircraft environment surveillance system and its digital simulation test [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2012, 33(12):2279-2290.)
- [6] 周强, 熊华钢. 新一代民机航空电子互连技术发展 [J]. 电光与控制, 2009, 16(4):1-6. (ZHOU Q, XIONG H G. Development of the new generation civil avionics interconnection technology [J]. Electronics Optics & Control, 2009, 16(4):1-6.)
- [7] 姚拱元, 吴建民, 陈若玉. 航空电子系统综合技术的发展与模块化趋势 [J]. 航空电子技术, 2002, 33(1):1-10. (YAO G Y, WU J M, CHEN R Y. The growth of avionics integration technologies and trends of the modularization [J]. Avionics Technology, 2002, 33(1):1-10.)
- [8] 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. (LI J S, LI J S. Development of integrated modular avionics for civil aircraft [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(19):42-45.)
- [9] 尤海峰, 刘煜. 大型民用飞机 IMA 系统应用分析及发展建议 [J]. 电讯技术, 2013, 53(1):110-116. (YOU H F, LIU Y. Application analysis of and development suggestion for IMA system on large civil aircrafts [J]. Telecommunications Engineering, 2013, 53(1):110-116.)
- [10] Airlines Electronic Engineering Committee. Avionics application software standard interface, ARINC specification 653 [Z]. Annapolis, Maryland, Aeronautical Radio Inc, 2006.
- [11] WATKINS C B, WALTER R. Transitioning from federated avionics architectures to integrated modular avionics [C]//Digital Avionics Systems Conference, 2007:2A1-1-2A1-10.
- [12] LITTLEFIELD-LAWWILL J, VISWANATHAN R. Advancing open standards in integrated modular avionics: an industry analysis [C]//Digital Avionics Systems Conference, 2007:2B1-1-2B1-14.