

基于 AFDX 网络的飞行管理仿真系统

李大川 程农 李清 宋靖雁

(清华大学自动化系, 北京 100084)

摘 要: 系统建模与数字仿真是大型客机飞行管理系统研发的重要阶段. 初步建立了基于航空电子全双工交换式以太网 (AFDX, Avionics Full-Duplex Switched Ethernet) 的飞行管理系统分布式实时仿真系统模型. 对飞行计划、飞行导引、轨迹预测、性能计算、综合导航、导航数据库、综合显示等核心功能进行了分析建模和算法开发. 并在此基础上对飞行管理计算机、综合导航系统、自动飞行系统等仿真子系统进行了设计, 在满足实时性要求的前提下, 基于 AFDX 网络与分布式仿真结构实现了对以飞行管理计算机系统为核心的航空电子仿真系统的集成, 给出了一种通用的、基于 AFDX 网络的飞行管理系统分布式仿真框架. 仿真系统的运行结果证明: 基于 AFDX 网络的分布式仿真结构能够有效满足实时性要求, 提高网络通信性能.

关 键 词: 飞行管理系统; AFDX 网络; 航空电子系统; 分布式仿真

中图分类号: V 355

文献标识码: A **文章编号:** 1001-5965(2011)07-0861-07

AFDX based simulation of flight management system

Li Dachuan Cheng Nong Li Qing Song Jingyan

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Modeling and digital simulation are important phases in the development cycle of the civil flight management system. The distributed real-time simulation structure of the flight management system was proposed. The core function modules of the flight management system including flight planning, flight guidance, trajectory prediction, performance calculation, navigation, navigation database and display were modeled and the simulation algorithms were developed. Based on the avionics full-duplex switched ethernet (AFDX) protocol, the simulation module of the flight management computer, integrated navigation system and automatic flight control system were designed and integrated into the distributed system. A generalized AFDX-based distributed simulation system framework of the flight management system was presented. Simulation results demonstrate that the distributed AFDX-based framework can be implemented in real time applications with improvements on the performance of the network.

Key words: flight management system; avionics full-duplex switched ethernet (AFDX); avionics; distributed simulation

飞行管理系统(FMS, Flight Management System)是现代大型客机航电系统的核心. 自 20 世纪 70 年代诞生以来, FMS 取得了长足发展, 功能也日益完善, 当前 FMS 已经发展成为集飞行计划、航迹预测、性能优化、综合导航、飞行导引等功能的综合系统, 可在整个飞行过程中负责协助飞行

员完成从起飞到着陆的各项任务, 管理、监视和操纵飞机实现全航程的自动飞行.

在 FMS 和航空电子系统的研制过程中, 数字仿真和半物理仿真是实验验证的重要阶段. 国外对 FMS 的仿真研究时间较长, 相关领域的研究者和研究机构基于不同的系统结构开发了 FMS 仿

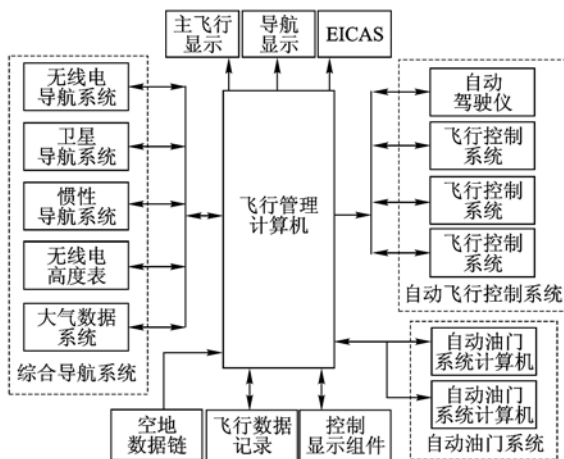
真系统,这些系统从内部通信结构的角度可以分为 2 类。一类结构对当前的航电设备与总线结构进行高度的仿真^[1-3],该类系统从顶层的硬件结构到底层的通信协议、信号的电气特性对整体航电系统进行建模,能够保证仿真符合真实工程应用需求,但灵活性较低,不利于系统结构的扩展以及新部件和新功能的集成。与之相对应,另一类结构完全采用自定义的系统模型和通信协议^[4-5],该类系统的优点在于灵活性强,易于扩展,但难以保证仿真的逼真度和可信度。目前国内在 FMS 仿真领域的研究尚处于起步阶段,有关 FMS 结构和原理的文献较多,但该领域的研究大多集中于对 FMS 某一功能分支的仿真实现上^[6-7]。从系统的角度对 FMS 整体进行功能和模块建模,并且基于整体通信网络对系统结构进行规划仿真,相关的研究成果还比较少。航空电子全双工交换式以太网(AFDX, Avionics Full-Duplex Switched Ethernet)是目前较先进的航空电子网络数据传输技术,具有带宽大、集成度高、实时性和可靠性高等特点,在近年来的先进机型上得到了广泛的应用。随着航空电子综合化不断增强,采用 AFDX 通信网络构建开放式模块化的 FMS 已成为必然趋势。

本文对基于 AFDX 的分布式 FMS 的整体框架和功能模块进行了建模与仿真设计。系统一方面采用分布式、模块化的结构以保证扩展性与灵活性,同时基于 AFDX 网络进行系统集成,从通信协议、软硬件接口的角度保证了仿真的可信度。

1 FMS 的功能和组成

FMS 集飞行计划、轨迹预测、导航、制导与显示等功能于一体,负责在飞行过程中提供参考轨迹,计算最优性能参数,按照参考轨迹与导航数据引导飞机飞行,同时向机组人员实时显示相关的数据和信息。

根据美国航空无线电公司(ARINC)标准文件 ARINC702-A3^[8],飞行管理计算机系统的核心功能如下:①综合导航;②飞行计划;③水平与垂直导引;④性能计算;⑤轨迹预测;⑥航空公司运营通信(AOC, Airline Operational Communication)功能;⑦通信导航监视/空中交通管理(CNS/ATM, Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management)功能;⑧机场导引;⑨地形与障碍物数据功能;⑩导航显示接口;⑪通信管理单元(CMU, Communications Management Unit)接口;⑫自主完好性检测;⑬导航数据库;⑭完整性监测与告警。典型的 FMS 结构如图 1 所示。



EICAS—发动机指示与机组告警系统, Engine Indication and Crew Alerting System.

图1 FMS 结构

从广义角度划分, FMS 包括飞行管理计算机系统、综合导航系统、自动飞行控制系统以及综合显示系统等。本文主要研究 FMS 的核心功能和整体系统的仿真设计。

2 FMS 各功能模块的建模与仿真

2.1 飞行管理仿真系统结构

飞行管理仿真系统的原理框图如图 2 所示,飞行管理仿真系统以飞行管理计算机(FMC, Flight Management Computer)模块为核心,通过 FMC 与综合导航系统、自动飞行控制系统以及电子飞行仪表(EFIS, Electronic Flight Instrument System)的功能交联与数据通信实现仿真系统的集成。FMC 包括飞行计划、轨迹预测、飞行导引、性能计算、综合导航、人机接口等核心功能模块。在仿真过程中,用户通过 MCDU(Multi-functional Control and Display Unit)制定和编辑基本飞行计划并输入初始设定和性能参数, FMC 飞行计划模块计算生成完整的飞行计划信息,系统一方面根据飞行计划信息经过轨迹优化模块和性能计算模块生成完整的水平和垂直航迹;另一方面 FMC 的综合导航模块根据各导航传感器的输入估计最优

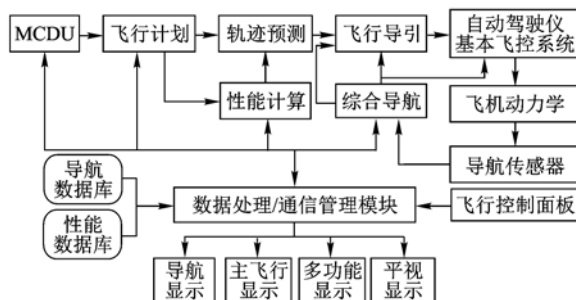


图2 飞行管理仿真系统原理框图

V , 计算转弯半径:

$$R = \frac{V^2}{\tan \phi} \quad (2)$$

3) 计算过渡段直线距离:

$$D_{\text{turn}(i)} = R \tan\left(\frac{|\Delta\psi|}{2}\right) \quad (3)$$

4) 求出飞机从 $W_{P_{i-1}}$ 到 W_{P_i} 的直飞距离:

$$D_{s(i)} = D_i - D_{\text{turn}(i)} \quad (4)$$

其中, D_i 为 $W_{P_{i-1}}$ 到 W_{P_i} 间航段的总距离, $D_{\text{turn}(i)}$ 为式(3)计算出的过渡段距离, 从而推算出转弯过渡点 P_1 .

5) 计算退出转弯后飞机进入下一航段的位置 P_2 .

2.3.2 垂直飞行轨迹预测与性能计算

垂直飞行轨迹的计算主要完成对飞机垂直飞行剖面的优化, 使飞机能够在最优的成本指标下飞行^[9]. 在飞行计划和水平轨迹的基础上, 利用飞机的性能模型、大气数据生成完整的包括起飞、爬升、巡航、下降、进近等阶段的完整优化垂直飞行剖面. 主要包括爬升/下降顶点、速度变化点、巡航爬升顶点计算、各航段的最优高度、最优速度等, 如图 5 所示. 飞机垂直飞行剖面由 3 部分构成: 爬升段、巡航段和下降段. 本系统中爬升段和下降段采用等 Ma/CAS 模式, 巡航阶段基于能量状态法计算各航段的最优巡航高度和速度^[10].

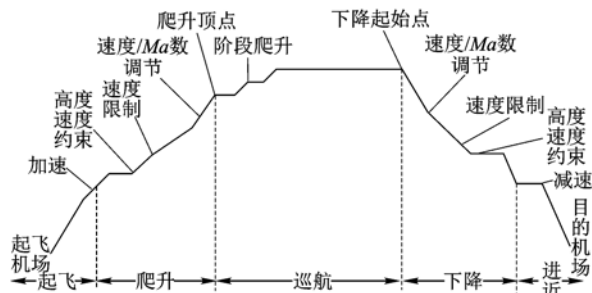


图 5 垂直飞行轨迹示意图

飞机在爬升段整体的操作过程中, 自动驾驶仪工作在速度保持状态和高度保持状态, 发动机工作在额定状态. 飞行管理计算机根据爬升初始重量、爬升初始高度以及爬升段采用的速度策略, 计算出爬升顶点、爬升段时间、爬升段耗油量以及整个爬升过程中的轨迹数据^[11].

巡航段采用如下简化的飞机质点运动模型:

$$m \frac{dV}{dt} = T \cos \alpha - D - mg \sin \theta \quad (5)$$

$$mV \frac{d\theta}{dt} = T \sin \alpha + L - mg \cos \theta \quad (6)$$

$$\frac{dh}{dt} = V \sin \theta \quad (7)$$

$$\frac{dx}{dt} = V \cos \theta + V_w \quad (8)$$

$$\frac{dm}{dt} = -\dot{f} \quad (9)$$

采用直接运营成本作为优化的性能指标, 直接运营成本为飞机燃油成本和时间成本的泛函:

$$J = \int_{t_0}^{t_f} (C_f \dot{f} + C_t) dt = \int_{t_0}^{t_f} P dt \quad (10)$$

其中, C_f 为燃油成本指数; C_t 为时间成本指数; \dot{f} 为燃油消耗率. 巡航段 FMC 基于能量状态法计算不同飞行重量下最优的巡航高度、巡航速度以及燃油消耗率等, 并实时输出高度、速度参数提供给飞行导引系统以进行垂直和水平导引.

下降段与上升段的计算类似, 在下降段过程中, 自动驾驶仪工作在速度保持状态和高度保持状态, 发动机工作在慢车状态. FMC 根据飞机性能模型参数给出下降段各点的垂直速度、时间、油耗等参数.

2.4 飞行导引模块

飞行导引模块是 FMS 中实现自动飞行控制的核心模块. 飞行导引模块在飞行仿真整个过程中的每个航段实施水平和垂直导引, 向自动驾驶仪和推力控制模块输出高度、航向和速度控制指令, 引导飞机按照预定航迹各航段的目标高度、目标航向和目标速度飞行^[12].

本仿真系统中按照飞行的不同模式将飞行导引模块划分为飞行模式选择模块、平飞导引模块、转弯导引模块、爬升和下降导引模块.

模式选择模块接收轨迹预测模块提供的参考轨迹信息, 根据参考轨迹以及飞机实时的位置判断飞机应进入的飞行模式, 输出模式切换信号, 根据模式切换信号分别启动平飞导引模块、转弯导引模块、爬升和下降导引模块、自动起飞模块、自动降落模块.

当飞机处在高度相同的两航路点之间的航段时切入平飞导引模式, 计算输出水平导引指令、垂直导引指令以及速度控制指令, 引导飞机完成平飞航段飞行. 一方面通过参考航段信息与飞机实际位置计算出偏航距, 解算并输出横滚控制量; 另一方面速度控制模块根据参考航迹的航路点时间目标与飞机实际位置和当前速度自动调整飞行速度, 确保飞机准时通过目标点.

当飞机处在高度不同的两航路点之间的航段时切入爬升和下降导引模块. 该模块输出航向控制指令、高度控制指令以及速度控制指令引导飞机完成爬升/下降段的飞行, 其中偏航距修正算法

负责计算输出横滚控制量,速度控制算法负责计算输出速度控制指令。

转弯导引模块引导飞机完成从一个航段到另一航段的过渡飞行,计算并输出水平控制指令、垂直控制指令以及速度控制指令。根据当前航段与下一航段的航迹角决定切入下一航段的转弯策略,控制飞机实现转弯段的过渡飞行并使飞机保持在航段的横向限制范围内。同时实现导引模式的切换,当转弯过渡过程完成后,切出转弯导引模块,由下一模块完成航向保持和偏航距的校正,从而准确切入下一航段^[13]。

自动起飞与自动着陆模块分别根据起飞和下降段参考航迹引导飞机实现自动起飞和进近着陆。

2.5 综合导航模块

综合导航模块主要实现以下功能:

1) 多源导航传感器信息融合^[14]。本文所设计的仿真系统中,对各机载导航传感器(大气数据惯性基准系统(ADIRS, Air Data/Inertial Reference System)、全球卫星定位系统(GPS, Global Positioning System)、甚高频全向信标/测距仪(VOR/DME, VHF Omnidirectional Range/Distance Measuring Equipment)等)的模型和导航解算算法进行了数学仿真,FMC综合导航模块接受来自各导航传感器的导航测量信息,并通过信息融合实时计算飞机的最优位置、速度、姿态、航向、航迹角等状态信息。信息融合算法采用联邦滤波器算法结构:联邦滤波器是一种两级滤波结构,见图6。图中公共参考系统为大气数据惯性基准系统ADIRS,ADIRS的输出 X_k 一方面直接给主滤波器,另一方面输出给各子滤波器作为量测值,GPS与VOR/DME系统的输出只给相应的子滤波器。各子滤波器的局部估计值 \hat{X}_i 及其协方差阵 P_i 送入主滤波器与主滤波器的估计值进行融合以得到全局最优估计。这种结构可以利用信息分配原则实现多传感器的最优估计,同时使整个系统具有一定的容错能力。

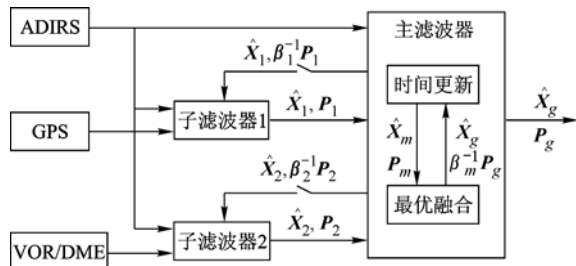


图6 组合导航联邦滤波算法结构

2) 所需导航性能(RNP, Required Navigation Performance)导航。根据各导航传感器的导航数据实时计算系统的实际导航性能,并与RNP值进行比较,以监视和验证导航系统的运行状态,并向用户实时显示相关数据。

3) 导航模式管理。自动导航模式管理逻辑为:

① GPS无效,DME/VOR有效,采用ADIRS/DME/VOR组合模式;

② DME/VOR无效,GPS有效,采用SINS/GPS组合模式;

③ 无线电和卫星导航系统都无效时,采用纯惯性导航模式;

④ 所有子系统都有效,采用基于联邦卡尔曼滤波(FKF, Federal Kalman Filter)的全组合模式。

4) 导航台自动选择与调谐。根据飞机当前的位置信息,从导航数据库中存储的导航台中根据选台算法选择2个最佳导航台,并对这2个选定的导航台进行自动调谐,以获得这2个导航台的无线电导航位置数据进行导航解算。图7为首都机场终端区导航自动选台的仿真结果。

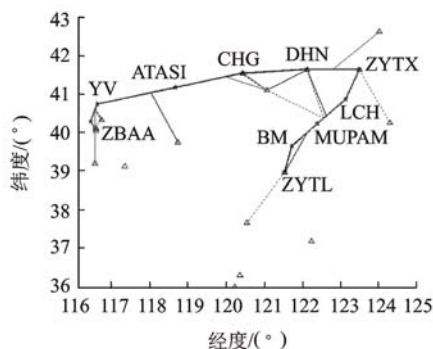


图7 北京首都机场终端区导航自动选台仿真

2.6 综合显示模块

综合显示系统是飞行管理系统中基本的信息输入和显示输出模块,是实现飞行员与FMS进行人机交互的核心单元。

综合显示模块中主要包括以下组成部分:

1) 主飞行显示(PFD, Primary Flight Display)信息。包括姿态、指示空速和马赫数、修正的气压高度以及航向、模式设置等信息。

2) 导航显示(ND, Navigation Display)。主要包括飞机相对于其环境的位置信息,飞机由起始机场到目的地的所有导引信息,包括水平与垂直飞行计划、无线电导航台、机场、航向和空速等。

3) 多功能控制显示组件MCDU:用户可通过鼠标或键盘进行操作。MCDU面板主要包括各种按键电门和显示屏。MCDU采用多页面检索的

方式进行信息输入和显示. 主要的功能页面包括初始页面 (IDENT)、位置初始页面 (POS REF)、起飞参考页面 (TEKEOFF REF)、航路/离场页面 (RTE)、性能页面 (PERF INIT)、爬升页面 (CLB)、巡航页面 (CRZ)、进近页面 (APP) 等. 飞行员可通过 MCDU 制定和修改飞行计划、输入初始性能参数以及模式控制、初始设定等参数. 同时在仿真过程中可通过相关页面实时监控 FMS 的当前状态.

4) 平视显示 (HUD, Head Up Display): 仿真机载 HUD 的模块功能, 将姿态、空速、高度、航向、风向风速等信息叠加于 3D 视景上实时显示.

本文所设计的仿真系统中采用 GL Studio 工具对综合显示模块进行了仿真开发, 实现了界面与面板仿真、数据通信与虚拟按钮输入等功能. 如图 8~图 10 所示.



图 8 基于 GL Studio 的 MCDU 仿真界面



图 9 基于 GL Studio 的 PFD 仿真界面

2.7 导航数据库与性能数据库

飞行管理系统包括 2 部分重要的数据库, 其中导航数据库模块按照 ARINC424 标准存储飞行管理系统所需的 8 大类 44 小类的导航数据, 为 FMC 的综合导航、飞行计划等功能模块提供数据支持. 性能数据库存储标准的飞机性能数据以及大气、风等环境数据, 为飞行管理系统性能计算、

轨迹预测等功能模块提供数据支持.

飞行管理仿真系统数据库模块的结构如图 11 所示.



图 10 基于 GL Studio 的 ND 仿真界面

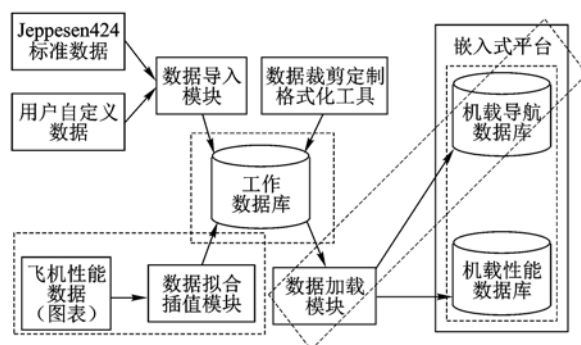


图 11 数据库仿真模块

3 基于 AFDX 网络的分布式 FMS 仿真系统集成

3.1 AFDX 网络拓扑

基于 AFDX 的分布式 FMS 仿真系统网络拓扑结构为星型. 如图 12 所示, AFDX 网络主要由端系统 (End System)、AFDX 交换机 (Switch) 以及传输链路组成. 每一个仿真子系统或模块为一个端系统, 每个端系统与其余端系统之间通过虚拟链路 (VL, Virtual Link) 连接^[15].

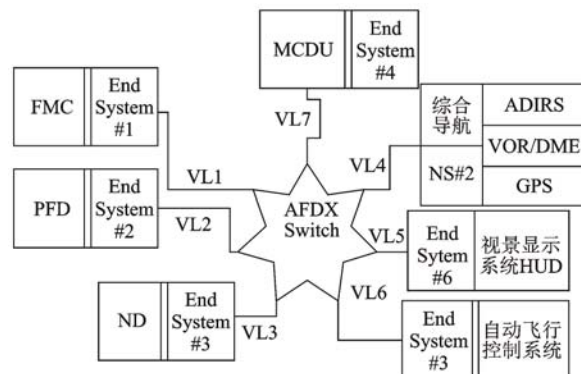


图 12 AFDX 网络拓扑

3.2 AFDX 网络配置

AFDX 的协议层与 TCP/IP 协议层划分相同.

每个 AFDX 端口与一个本地 UDP 端口相对应.不同的端系统之间的数据传输通过虚拟链路实现.在应用层,应用程序只需向 AFDX 端口发送数据或在 AFDX 端口上监听数据即可,所有发送与接收工作均通过 AFDX 网卡完成^[16].

AFDX 网络的搭建主要包括以下步骤:①划分端系统,设置端系统 ID;②根据网络的数据流和端系统之间的连接需求规划虚拟链路;③对每条虚拟链路配置对应端系统的端口号;④设置虚拟链路的数据传输方式:采样或队列方式;⑤设置虚拟链路的传输间隔、数据长度等参数^[17].

AFDX 网络的总体配置通过编写 AFDX 配置文件来实现. AFDX 配置文件遵循 xml 语法格式,包括端系统、虚拟链路、端口(采样、队列、SAP)等相关的参数配置.

以综合导航传感器子系统为例对 AFDX 网络进行配置实验,整体网络连接如图 13 所示.

使用 Condor 公司提供的 BusTools/AFDX 测试工具对导航子系统 AFDX 网络性能进行测试,实时捕获各虚拟链路的数据包数量、字节数和带宽,测试结果如图 14 所示.数据包以一定的带宽在虚拟链路中进行传输,各虚拟链路之间相互独立,互不干扰,且带宽稳定,具有传统以太网和传统航空总线所不具备的性能.可见,在 FMS 仿真系统中采用 AFDX 网络,能够较大地改善网络传输性能,使仿真系统能够在较高程度上接近真实 FMS 系统的运行情况.

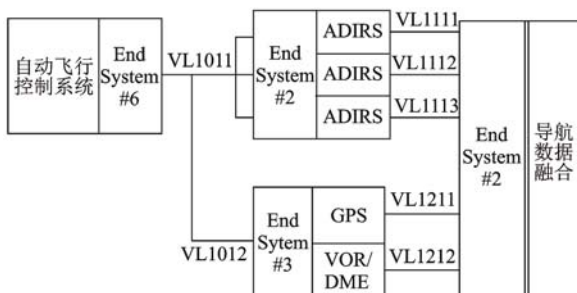


图 13 导航传感器子系统 AFDX 网络连接

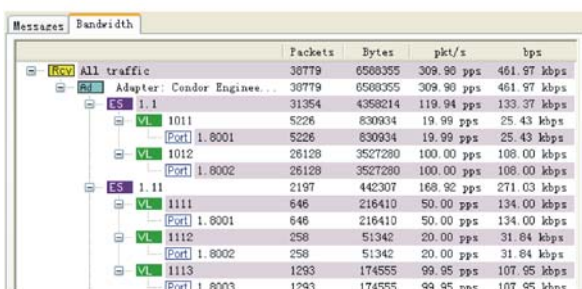


图 14 AFDX 网络测试结果

4 结 论

本文重点研究了基于 AFDX 网络的分布式飞行管理仿真系统的整体结构以及仿功能模块的设计,集成的仿真系统初步实现了 FMS 各系统的实时协调运行.在构造实时分布式网络条件下 FMS 仿真系统等方面给出了可行性结论.基于 AFDX 的分布式飞行管理仿真系统具有模块化、带宽大、集成度高、实时性和可靠性好等特点,通过本文的分析和验证,在 FMS 仿真系统的研究中采用 AFDX 网络是十分有效的,能够极大地改善网络传输性能,使仿真系统能够在较高程度上接近真实 FMS 系统的运行情况.

参考文献 (References)

- [1] Scharl J, Snow P, Neff A. Building a real-time flight deck/ATM simulation platform for research and development [R]. AIAA-2009-6123, 2009
- [2] Chung V I, Hutchinson B K. A unique software system for simulation-to-flight research [R]. AIAA-2001-4057, 2001
- [3] Madden M M, Sugden P C. Extending a flight management computer for simulation and flight experiments [R]. AIAA-2005-6100, 2005
- [4] Chicop K, Xuereb M. A flexible framework for configurable real-time flight simulators [R]. AIAA-2010-8098, 2010
- [5] Palmer M T, Ballin M G. A high-performance simulated on-board avionics architecture to support traffic operations research [R]. AIAA-2003-5452, 2003
- [6] 王江云, 杨晓阳. 民机飞行管理系统建模与仿真实现 [J]. 飞行力学, 2008, 26(2): 81-84
Wang Jiangyun, Yang Xiaoyang. Modeling and simulation of the civil flight management system [J]. Flight Dynamics, 2008, 26(2): 81-84 (in Chinese)
- [7] 姜华男, 宋东, 王波, 等. FMS 导航与制导及系统数字仿真 [J]. 电子测量技术, 2007, 30(11): 6-9
Jiang Huanan, Song Dong, Wang Bo, et al. FMS's navigation, guidance and system digital simulation [J]. Electronic Measurement Technology, 2007, 30(11): 6-9 (in Chinese)
- [8] ARINC 702A-3 Advanced flight management computer system [S]
- [9] Portillo I A, Ackin E M. Adaptive trajectory planning for flight management systems [R]. AIAA 2002-1073, 2002
- [10] Roberts L S. Aircraft performance optimization [J]. J Aircraft, 1972, 9(2): 108-114
- [11] 马锐. 飞行管理系统性能优化与控制研究 [D]. 西安: 西北工业大学电子信息学院, 2006
Ma Rui. Civil aircraft flight management simulation system design and realization [D]. Xi'an: School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, 2006 (in Chinese)

(下转第 876 页)

从拟配的结果看,用 STFT 处理后的信号能够进行良好的拟配,高低阶系统的频率响应完全拟合,失配包络完全位于失配包络线中.失配数和等效延迟时间均较小.

5 结 论

对在线采集的信号进行频域等效系统拟配,信号的频段是影响拟配结果的一个关键因素.仿真实例表明:用 STFT 对时域信号进行截取,得到驾驶员敏感的中低频段信号,并将截取后的信号用于纵向频域等效拟配可以明显地改善飞行品质评价结果.

参考文献 (References)

- [1] MIL-STD-1797 Flying qualities of piloted aircraft[S]
- [2] 边海龙. 基于短时傅里叶变换检测非平稳信号的频域内插优化抗混叠算法[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(2): 284 - 288
Bian Hailong. Anti-aliasing algorithm of nonstationary harmonic signal measurement based on interpolation in frequency domain using short time Fourier transform[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29(2): 284 - 288 (in Chinese)
- [3] 杨建国. 小波分析及其工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007
Yang Jianguo. Wavelet analysis and its engineering applications [M]. Beijing: China Machine Press, 2007 (in Chinese)
- [4] 唐晓初. 小波分析及其应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2006
Tang Xiaochu. Wavelet analysis and applications [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2006 (in Chinese)
- [5] 奥本海姆 A V, 谢弗 R W, 巴克 J R. 离散时间信号处理[M]. 2 版. 西安: 西安交通大学出版社, 2001: 575 - 576
Oppenheim A V, Schafer R W, Buck J R. Discrete-time signal processing[M]. 2nd ed. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001: 575 - 576 (in Chinese)
- [6] John Hodgkinson. A history of low order equivalent systems for aircraft handling qualities analysis and design[C]//2003 AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit. USA: AIAA, 2003: 11 - 14
- [7] John Hodgkinson. History of low-order equivalent systems for aircraft flying qualities [J]. AIAA, 2005, 28(4): 577 - 583
- [8] 高金源, 李陆豫, 冯亚昌. 飞机飞行品质[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 63 - 63
Gao Jinyuan, Li Luyu, Feng Yachang. Aircraft handling qualities [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2003: 63 - 63 (in Chinese)
- [9] 艾剑良. 时域极大似然法在某主控飞机等效横航向飞行品质辨识中的应用[J]. 西北工业大学学报, 1995, 13(1): 46 - 51
Ai Jianliang. Time-domain maximum likelihood method and its application in the identification of aircraft flying quality parameters [J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 1995, 13(1): 46 - 51 (in Chinese)

(编辑: 刘登敏)

(上接第 867 页)

- [12] Lance Sherry. Shared models of flight management vertical guidance [J]. The International Journal of Aviation Psychology, 1999, 9(2): 139 - 153
- [13] Hie Stiharu Alexe, Jules O'Shea. Four-dimensional guidance of atmospheric vehicles[J]. Journal of Guidance, Control and Dynamics, 1996, 19(1): 113 - 122
- [14] 李瑞勇. 基于信息融合的组合导航系统研究[D]. 西安: 西北工业大学电子信息学院, 2005
Li Ruiyong. Research of integrated navigation system based on information fusion[D]. Xi'an: School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, 2005 (in Chinese)
- [15] 陈昕, 周拥军, 万剑雄. AFDX 端系统关键技术的研究与实现[J]. 计算机工程, 2009, 35(5): 1 - 3
Chen Xin, Zhou Yongjun, Wan Jianxiong. Research and implementation of key techniques in AFDX end system[J]. Computer Engineering, 2009, 35(5): 1 - 3 (in Chinese)
- [16] Mifdaoui A, Frances F, Fraboul C. Full duplex switched ethernet for next generation 1553B-based applications[C]//Proceedings of the 13th IEEE Real Time and Embedded Technology and Applications Symposium. Washington: IEEE Press, 2007: 45 - 56
- [17] GE Inc. CFDX user's manual[M/CD]. Charlottesville, Virginia: GE Fanuc Embedded Systems, Inc., 2007[2009-07-15]

(编辑: 文丽芳)