

航空无线电导航系统仿真研究

苗强¹, 吴德伟¹, 何晶¹, 解蕾²

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 西北大学 公共管理学院, 陕西 西安 710069)

摘要:航空无线电导航系统的全数字仿真是飞行检验仿真的重要基础,也是通信系统综合仿真系统的重要组成部分。分析了航空无线电导航系统及其仿真的特点和 Matlab/Simulink 在建模仿真中的特点,以及它与高层体系结构 HLA 的兼容性方面所表现出的强大的可扩展性和可重用性的优点,说明了在通信系统综合仿真系统中,利用 Matlab/Simulink 对无线电导航系统进行建模仿真的可行性,并利用 Matlab/Simulink 软件对航空无线电导航系统的仿真进行了初步探讨,建立了米波仪表着陆系统的地面航向信标、天线分配网络、空间信号合成和机载接收分系统的 Simulink 模型,得出了正确的波形。提出了将仪表着陆系统的 Simulink 模型加入基于 HLA 的通信系统综合仿真系统联邦的解决方案。

关键词:无线电导航系统; Simulink; 模型; 仿真

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)03-0016-04

无线电导航系统仿真是实现飞行检验全数字仿真的基础。无线电导航系统是以无线电技术实现的导航,引导飞机进入预定航线,或引导飞机以预定的姿态进场着陆^[1]。特别是飞机精密进近着陆系统为飞行员提供航向道、下滑道,或为自动驾驶仪提供着陆控制数据,引导飞机安全飞行及着陆^[2]。然而,进近着陆系统性能的发挥和提供导航信息质量的高低,一方面取决于设备本身技术性能,另一方面还依赖于导航系统配置的地点和场地环境条件,并且受场地环境、电波传播条件和电磁干扰等外界影响^[3]。

目前国内外对于无线电导航系统主要集中在卫星定位系统仿真,基于惯性导航系统和其他导航系统的组合导航系统及其导航算法仿真研究。在综合性的仿真系统如飞行训练模拟系统中,也只是对无线电导航系统进行功能级的仿真。对无线电导航系统链路波形级仿真很少,更没有航空无线电导航系统整个系列的装备的完整的链路级模型。

1 Matlab/Simulink 在无线电导航系统仿真中的可用性兼容性研究

国内外很多研究机构和大学对于所建立的比较完善的 Simulink 模型应用到 HLA 仿真中去进行了很多研究,并取得了较多的成果^[4]。其中比较成熟的有清华大学的 Matlab 与 HLA/RTI 通用适配器^[5]、国防科大的 KD-HLASimulink 工具箱^[6]和 MAK 公司的 HLA/DIS Toolbox^[7]的研究。国防科大开发的 KD-HLA-Simulink 工具箱完全集成在 Simulink 环境中,并为用户提供一组 Simulink 模块,称之为 HLA 模块。HLA 模块实现了与 RTI 的接口功能。利用 HLA 模块可以创建与加入联邦;公布/订购对象类和交互类;收发对象类属性和交互类参数数据;使用 RTI 的时间管理服务和数据分发管理服务等^[6]。MAK 公司的 HLA/DIS Toolbox 在 MATLAB&Simulink 和基于 HLA/DIS 标准的分布式仿真环境之间提供了一个接口。使用它可以将实时的或已记录的 HLA/DIS 数据输入 MATLAB 中用于分析,或是将 MATLAB 或 Simulink 模型整合到 HLA/DIS 环境当中。使用 Toolbox 时, MATLAB 或 Simulink 应用程序就成为了一个健全的 HLA/DIS 联邦成

收稿日期:2007-09-23

作者简介:苗强(1981-),男,山东滕州人,博士生,主要从事导航系统建设与评估研究;

E-mail:mqmiaoqiang@126.com

吴德伟(1963-),男,吉林省吉林人,教授,博士生导师,主要从事导航工程研究。

员,可以加入联邦,订购各种对象和交互类,并能够通过 HLA RTI 或 DIS 网络结合扩展的仿真应用进行数据交换^[8]。利用 MAK 公司的 HLA/DIS Toolbox 实现了 Simulink 模型与 HLA 的互连^[8]。这为我们利用已创建的无线电导航系统的 Simulink 仿真模型加入到整个通信系统综合仿真系统这个大联邦中提供了解决方案。

2 应用实例

利用 Simulink 建立了无线电导航系统中米波仪表着陆系统地面分系统和机载分系统的仿真模型。模型已经过校核和验证,飞机动力学模型分系统仿真模型正在创建中。下一步的工作是基于前人已开发的 KD-HLASimulink 工具箱,将仪表着陆系统地面分系统、机载分系统和飞机动力学模型组成联邦。图 1 为基于 HLA 的米波仪表着陆系统仿真的体系架构。

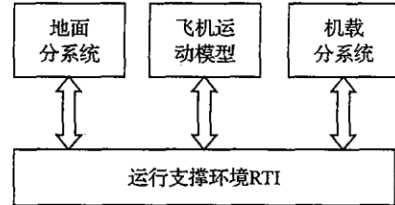


图 1 基于 HLA 的米波仪表着陆系统的体系架构框图

Fig. 1 Simulation system of instrument landing system based on HLA

2.1 仪表着陆系统地面分系统仿真模型

仪表着陆系统由地面设备和机载设备组成。地面设备为地面信标,由航向信标、下滑信标和 2-3 个指点信标组成。仪表着陆系统地面分系统的仿真分为信标发射机子系统,天线分配网络子系统和空间信号合成子系统。我们以航向信标的发射和接收为研究重点。

2.1.1 航向信标发射机子系统建模与仿真

国际民航组织的标准仪表着陆系统是通过比较 90 Hz、150 Hz 两个音频信号调制度给出航向信息的。令 $DDM' = M_{90} - M_{150}$ 其中: M_{90} 、 M_{150} 分别为 90 Hz、150 Hz 两个音频信号的调制度。

对进场的飞机而言:

在航道左侧,150 Hz 占优势, $DDM' < 0$; 在航道右侧,90 Hz 占优势, $DDM' > 0$; 在航道上,二者幅度相等, $DDM' = 0$ 。

航向信标台包含 4 部发射机即两台航道发射机和两台余隙发射机,其原理相同,用来产生航道、余隙载波加边带信号 CSB (Carrier Plus Sideband Signal)、SBO (Sideband only Signal) 信号。设航向信标台所馈送的 CSB 和 SBO 信号为

$$CSB: u_{CSB}(t) = u_{CSB} (1 + M_{90} \sin \Omega_1 t + M_{150} \sin \Omega_2 t) \sin \omega t \tag{1}$$

$$SBO: u_{SBO}(t) = u_{SBO} (M_{90} \sin \Omega_1 t - M_{150} \sin \Omega_2 t) \sin \omega t = u_{SBO} (\sin \Omega_1 t - \sin \Omega_2 t) \sin \omega t \tag{2}$$

式(1)、式(2)中, $\Omega_1 = 2\pi \times 90$, $\Omega_2 = 2\pi \times 150$, ω 为载波角频率, $M_{90} = M_{150} = m$ 。

图 2 为地面航向信标台发射机子系统 SIMULINK 仿真框图。在本系统的 SIMULINK 模型中,因为需要对信号进行相位的处理,所以将信号通过希尔伯特变换成复信号^[9],其实部为真实信号,信号相位的变换都是在复数域实现的,最后再将复信号转换成实部和虚部,其实部即为所得信号。为提高仿真效率,载波频率设为 1MHz。下图为仿真得出的 CSB、SBO 信号时域图,如图 3 所示。

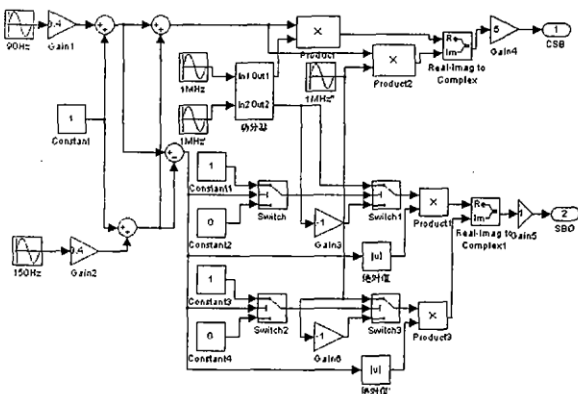


图 2 发射机子系统 SIMULINK 模型

Fig. 2 SIMULINK model of transmitter subsystem

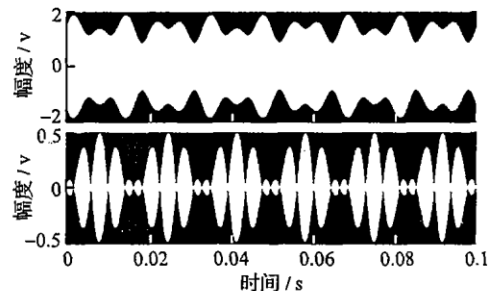


图 3 CSB、SBO 信号波形

Fig. 3 Signal wave - form of CSB and SBO

2.1.2 航向信标天线分配网络建模与仿真

航向信标天线系统将来自航道、余隙的 CSB, SBO 信号按规定的规律分配给天线阵的各个单元,按照系统所要求的场型辐射出去。从而在其作用空间内给出航道或偏离航道的信息。米波仪表着陆系统采用对数周期天线阵。航向信标天线系统最主要的仿真部分为天线分配网络,经过天线分配网络使 CSB、SBO 信号按照要求的相位、幅度关系馈送给天线阵。天线分配网络主要由不平衡功分器、混合器和延迟线组成。

其中不平衡功分器的作用是将信号分配成所要求的功率关系(幅度关系的平方),混合器的作用是将分离开的 CSB、SBO 信号混合成一路,同时馈送给同一天线单元。并使馈送给天线的 CSB、SBO 信号正交。

2.1.3 空间合成信号建模与仿真

空间任意一点的信号是所有 4 对天线辐射信号之和。设 P 点在距离天线阵 10 km, 航向角 0.05 rad。根据空间任一点的位置建立该点的合成信号模型。空间 P 点的信号为 4 对天线振子辐射的 CSB、SBO 信号的合成。利用 SIMULINK 创建以下仿真模型,如图 4 所示。

图 5 为输出图标 1、2、3、4 为各对天线振子在空间 P 点辐射的信号,输出图标 4 为空间 P 点实际接收到的信号,即天线阵辐射信号在 P 点的合成信号。仿真结果如图 5 所示。

2.2 机载接收机分系统建模与仿真

仪表着陆系统的机载航向接收机的作用是接收航向信号,输出 90 Hz、150 Hz 信号的调制度差 DDM,比较两调制度的大小(或者输出两单音频信号幅度归一化的差值)。主要有包络检波器、中心频率为 90 Hz、150 Hz 的带通滤波器、归一化比幅电路构成。

音频幅值比较模块完成 90 Hz、150 Hz 两个单音频的幅度的比较,其差值作为仪表模块的驱动信号。

在各分系统与 RTI 的接口部分,利用 KD-HLASimulink 工具箱实现各分系统属性的发布和信息的订购。由飞机动力学模型联邦成员向仪表着陆系统地面分系统联邦成员提供实时位置信息,仪表着陆系统地面分系统联邦成员生成飞机所在位置的信号模型,仪表着陆系统机载分系统联邦成员接收信号,根据所接收的信号计算出飞机的位置信息。

3 结论

无线电导航系统的全数字链路波形级仿真对于飞行检验的仿真系统和空军通信系统综合仿真系统的建设具有重要意义。选择 Matlab/Simulink 创建无线电导航系统的仿真模型,模块丰富,建模简单、清晰,易于加入到通信综合仿真系统的联邦中去,符合无线电导航系统建模仿真的特点。

参考文献:

[1] 张忠兴,李晓明. 无线电导航理论与系统[M]. 西安:陕西科技出版社,1998.
 ZHANG Zhongxing, LI Xiaoming. Radio Navigation Theory and System[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press. 1998. (in Chinese)

[2] Richard M Hueschen, Charles E Knox. Modeling of Instrument Landing System (ILS), Localizer Signal On Runways 25L at Los Angeles International Airport[M]. NASA Technical Memorandum 4588, 1994.

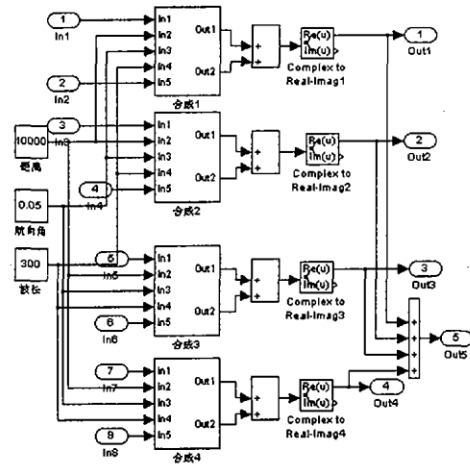


图 4 空间合成信号 SIMULINK 模型框图
Fig. 4 SIMULINK model of spatial signal synthesis

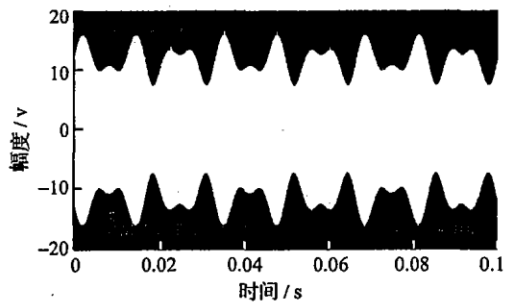


图 5 空间 P 点信号波形图
Fig. 5 Signal wave - form at point P

- [3] Greving G, Spohnheimer N. Current Issues in Demanding ILS Ground and Flight Measurement Environments[C]//13th IFIS, Montreal:Canada[s. n.], 2004:245 - 253.
- [4] 郭张龙, 丁尔启, 李为民, 等. 一种基于 DIS/HLA 仿真的空对地作战效果评估方法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2006, 7(2):22 - 24.
GUO Zhanglong, DING Erqi, LI Weimin, et al. A Method for Evaluation of Air - to - ground Engagement Effect Based on DIS/HLA Simulation[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2006, 7(2):22 - 24. (in Chinese)
- [5] 郭斌, 熊光楞, 陈晓波, 等. MATLAB 与 HLA/RTI 通用适配器研究与实现[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(6):1275 - 1279.
GUO Bin, XIONG Guangleng, CHEN Xiaobo, et al. Researching and Development of General Adaptor of MATLAB and HLA/RTI [J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(6):1275 - 1279. (in Chinese)
- [6] 乔海泉, 田新华, 黄柯棣. 将 Simulink 模型用于 HLA 仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2):335 - 400.
QIAO Haiquan, TIAN Xinhua, HUANG Kedi. Using Simulink Model in HLA System[J]. Journal of System Simulation. 2006, 18(2):335 - 400. (in Chinese)
- [7] 李军, 张亮, 张文明, 等. 基于 HLA/Simulink 的通信对抗链路仿真系统开发[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(8):2166 - 2169.
LI Jun, ZHANG Liang, ZHANG Wenming, et al. Development of Communication Countermeasure Link Simulation System Based on HLA & Simulink[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(8):2166 - 2169. (in Chinese)
- [8] ZHANG Yanzhong, YU Yongli, YANG Jun. Simulation of Maintenance Support Hybrid System Based on HLA[C]//6th World Congress on Intelligent Control and Automation 2006, Dalian: [s. n.], 2006:6160 - 6164.
- [9] 沈超, 裘正定. 基于 MATLAB/SIMULINK 的 GPS 系统仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(7):1857 - 1860.
SHEN Chao, QIU Zhengding. Simulation of GPS System Based on Simulink[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(7):1857 - 1860. (in Chinese)

(编辑:田新华,徐楠楠)

Study in the Simulation of Aviation Wireless Navigation System

MIAO Qiang¹, WU De - wei¹, HE Jing¹, XIE Lei²

(1. Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, 710077, China; 2. School of Public Administration, Northwest University, Xi'an, 710069, China)

Abstract: The software simulation of aviation wireless navigation system is the basis of the simulation of flight check, and also is an important component of comprehensive simulation system of air force communication system. The characteristics of aviation wireless navigation system and of the simulation of it are analyzed, and simultaneously the characteristics of Matlab/Simulink in modeling simulation are analyzed. At the same time, its extensibility and reusability representing in the compatibility with HLA are also analyzed. An initiative research of the simulation of aviation wireless navigation system is made by using Matlab/Simulink. The Simulink models of the subsystems of ground course beacon, antenna distribution network, spatial signal synthesis and receiver onboard subsystems of Instrument Landing System are built and the correct signal wave - form produced by the simulation system is obtained. A resolution scheme about joining the Simulink model of Instrument Landing System into the comprehensive simulation system federation of air force communication system is put forward.

Key Words: wireless navigation system; simulink; model; simulation