DOI：10.19789/j.1004-9398.2022.03.005
文献引用：金学良，黄敏，袁志亮．基于5G无线通信的铁鸟驾驶舱终端显示应用研究[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2022，43（3）：24-29.
JIN X L，HUANG M，YUAN Z L. Terminal display application of Iron Bird cockpit based on 5G-wireless communication[J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2022，43（3）：24-29.

基于5G无线通信的铁鸟驾驶舱终端显示应用研究

金学良*，黄　敏，袁志亮
（上海飞机设计研究院，上海　201210）

摘要：民用飞机地面模拟试验过程中，针对铁鸟试验台特殊的试验环境，利用5G无线传输的低延迟性和高穿透性等特征，在铁鸟驾驶舱与铁鸟操作间配置内部5G专网、手机或平板终端与飞行仿真系统进行无线实时通信连接．同时，终端上可实现操作飞行仿真系统上位机界面的功能，并且成功应用在铁鸟试验中，提高试验效率，为后续的5G技术应用在民用飞机地面半物理仿真试验提供了重要的参考价值与意义．

关键词：铁鸟试验台；驾驶舱终端显示；5G客户终端设备；飞行仿真系统
中图分类号：V271.1；V216.7

Terminal display application of Iron Bird cockpit based on 5G-wireless communication

JIN Xueliang*，HUANG Min，YUAN Zhiliang
（Shanghai Aircraft Design and Research Institute，Shanghai　201210）

Abstract：In the process of civil aircraft ground simulation test，according to the special test environment of the Iron Bird test bed，using the characteristics of low delay and high penetration of 5G wireless transmission，the internal 5G private network is configured between the cockpit and the operation room of the Iron Bird，and the mobile phone or tablet terminal can communicate with the flight simulation system in real time. At the same time，the terminal can realize the function of operating the upper computer interface of the flight simulation system. It has been successfully applied in the Iron Bird test to improve the test efficiency，which provides great reference value and significance for the subsequent application of 5G technology in the civil aircraft ground semi physical simulation test.

Keywords：Iron Bird experiment；cockpit terminal display；5G customer premise equipment；flight simulation system
CLC：V271.1；V216.7

收稿日期：2021-03-29
* 通信作者：506252688@qq.com

0 引 言

飞行控制系统(简称飞控系统)作为民用飞机的重要系统之一,其地面模拟试验的充分性对飞机安全尤为重要.国内外民用飞机研制中,往往通过铁鸟试验台或者工程模拟器,借助半物理仿真的手段来进行飞控系统的验证[1-2].铁鸟试验台是飞控系统综合试验的基础平台,在其上开展的试验科目统称为铁鸟试验,其中部分需使用驾驶舱组件(侧杆、脚蹬、减速板手柄、配平开关及模式开关等)配合完成的试验科目统称为铁鸟驾驶舱试验.飞控系统铁鸟试验通常包括功能、性能、接口、逻辑架构、余度故障、交联控制、鲁棒性、飞行员在环和闭环稳定性等试验科目,试验类别多且试验状态点数量巨大,如何在不改变现有铁鸟半物理试验环境构型的基础上,优化试验流程并提高试验效率,是当前铁鸟试验优化工作的重点[3-4].

5G技术是我国核心优势的技术领域,是能够在未来带动国内相关产业发展的重要引擎.5G技术与民航领域的深度融合与应用对行业发展具有重要意义,如何挖掘5G技术在飞机全生命周期中的应用潜力,提升飞机产品竞争力,是现阶段民航领域的探索重点[5].目前,5G技术在民用飞机制造及机场建设领域的应用均取得阶段性成果,但在民用飞机地面试验领域的应用推广还处于探索阶段.国内外基于5G通信应用的半物理仿真飞机驾驶舱研究还未有实际的工程应用.

铁鸟试验台通常配置驾驶舱和操作间.在驾驶舱中配置视景系统和显示仪表,用于支持飞控系统闭环试验、操稳特性试验、飞行员在环试验以及飞行员培训等试验需要[6-7].在操作间内配置飞行仿真系统和试验监控等设备,能够运行飞机和关键系统模型,解算飞机六自由度方程,向闭环内其他系统输出飞机的飞行状态参数.驾驶舱和操作间通过各类总线(ARINC664、ARINC429和CAN总线)实时通讯[8-9].

以飞控系统铁鸟试验中的驾驶员在环试验科目为例,飞行状态点通常在起飞、爬升、巡航、下降和复飞等典型飞行状态中选取,驾驶员通过操纵侧杆、脚蹬及配平面板等组件模拟空中典型飞行动作,如阶跃操纵、盘旋、滚转及加减速飞行等,测试飞控系统响应是否满足系统设计要求[10-11].在试验过程中,驾驶舱与操作试验台间隔距离较长且沟通极其不方便,测试人员在操作间内负责控制仿真模型释放及故障监控等工作,需实时与驾驶舱内的飞行员保持语音通信,在空中飞控计算机失效重启、主飞行仪表显示设备及集成备用仪表失效等一些特殊工况下,即试验人员在驾驶舱相当于“盲飞”状态,驾驶舱的试验人员无法实时掌握飞机仿真飞行的状态,仅根据操作间人员的指令靠对讲机来做一些专业的操作,增加了试验的复杂性,大大降低了试验的效率与准确性,试验周期加长且重复性劳动增加.因此,急切需要一种适应于铁鸟驾驶舱的辅助设备显示仿真飞行的各种状态,与机载显示仪表不同,在不改变试验构型、且无需增加航空总线的情况下,结合5G技术的无线通信显示系统应用在铁鸟半物理仿真试验台,对试验效率及优化有极大的帮助,且该领域还未有相关的工程应用与研究.

本文提出一种基于5G无线通信的铁鸟驾驶舱终端显示方案,该方案已成功应用到铁鸟试验中并极大地提高了试验效率.在铁鸟水平安定面试验配平的过程中,往往通过人工操作配平开关实现平尾的运动.而通过本方案的优化,实现了水平安定面配平的上下位机将人工配平转换为控制器自动化、高精度和低延时的配平试验,节省了大量的人力与时间资源,并且其精度误差缩小至1%.因此,本文研究应用5G技术的铁鸟驾驶舱具有一定的研究意义与前瞻性.

1 基于5G的铁鸟驾驶舱终端显示方案

在做飞控系统地面半物理仿真试验的过程中,实时通信的必要性对铁鸟试验至关重要,驾驶舱与试验间的数据传输需要ARINC429、ARINC664和ADB总线等专用航空总线通信协议,均采用真实的有线线缆进行连接,若出现试验线缆受损等突发情况,由于铁鸟试验间试验环境复杂,且线缆排布密集,重新布置线缆尤其麻烦,故结合5G客户终端设备(customer premise equipment,CPE)来实现铁鸟驾驶舱与操作间飞行仿真系统的无线显示连接.

5G CPE应用通信架构如图1所示.5G终端设备接收运营商基站发出的5G信号,转换成高速Wi-Fi信号或有线信号,通过连接Wi-Fi信号,5G CPE让更多本地设备(手机、平板和电脑)上网,与普通路由器不同的是,5G CPE Pro支持传统有线宽带和插

SIM卡2种联网模式.NSA(non-standalone)和SA(standalone)是2种组网模式,NSA是非独立组网,SA是独立组网,二者都是5G NR(new radio)标准之下的组网方案[12-13].

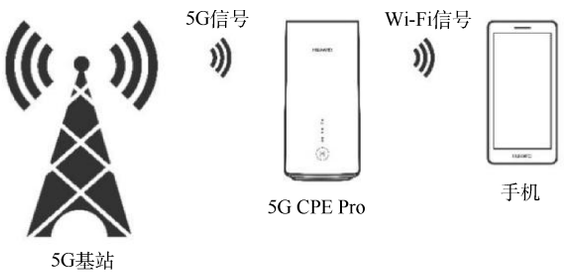


图1　5G客户终端设备(CPE)应用通信架构

铁鸟试验环境的特殊性,在配置5G CPE的过程中,通过搭建内部局域网,添加门限设置仅对内部开放,提出并搭建了基于5G无线通信的铁鸟驾驶舱终端显示系统方案,系统架构如图2所示.

铁鸟飞行仿真系统的上位机网络端口号已经配置,若直接连入5G CPE模块将导致之前的IP地址错误,影响整体试验构型,故在设计搭建的过程中,考虑在不影响构型的情况下,将5G CPE连入飞行仿真系统的路由器,并且与飞行仿真系统网口进行统一配置,同时利用5G无线传输的低延迟性等特征,在铁鸟驾驶舱可以用任意手机或平板终端进行无线的通信连接,并且可以在手持移动终端上实现操作飞行仿真上位机界面的功能.

在设计搭建配置铁鸟驾驶舱5G网络的过程中,也可以用视频图形阵列(video graphics array,VGA)或高画质多媒体接口(high definition multi-media interface,HDMI)视频连接线来进行拓展显示器.但是,由于铁鸟试验间与驾驶舱线路复杂,排线布置线路极其麻烦,并且从操作间到驾驶舱需要至少20 m的视频传输线,随着线缆的加长,会有比较严重的延迟性,从而增加试验的复杂性,故不考虑.

2　配置5G无线通信铁鸟驾驶舱终端

对于便捷性和更深的开发需求,仅用视频连接线明显不够,在后续的无线通信传输中,铁鸟试验台中的数据监控系统、信仿系统、故障监控系统和视频监控系统等都可通过各个路由器的配置,配置5G CPE实现无线实时通信显示,使得试验环境有了质的提升.在铁鸟操作间的飞行仿真上位机界面中,操作人员分屏操作,可以选择共享的分屏,即在试验过程中,主屏可继续查看文档等其他操作,并不影响副屏的实时共享.在实际做试验的过程中,往往需要查看试验任务书、试验大纲或其他文本来选取状态点等操作,分屏的共享且终端的操作并不影响飞行仿真的主屏,从而使得试验效率进一步提升.

在铁鸟驾驶舱与试验间间隔墙体,考虑到位置的复杂性,故选取无线的通信,利用5G CPE的高穿透性,进一步增加了便捷性,并且手持终端的连接可随时由操作间来配置,终端上实时共享飞行仿真的界面,不仅可以显示,还可以实现控制操作界面的功能,提高了试验的效率.

5G CPE网络配置界面如图3所示.CPE配置界面采用5G的通信协议,并且开放2.4和5.0 GHz的Wi-Fi作为内部局域网的组网,增加了安全性.在后续的开发中不仅可以用平板,也可以随时用手机端连接Wi-Fi与CPE进行通信,并且通过权限认证后,可以访问飞行仿真系统界面、信号仿真系统界面和故障监控系统界面等常用界面,使得试验效率提升.无线终端网络配置界面如图4所示.局域网配置的是飞行仿真路由器,从飞行仿真路由器访问其上位机界面,手机端和平板的各类终

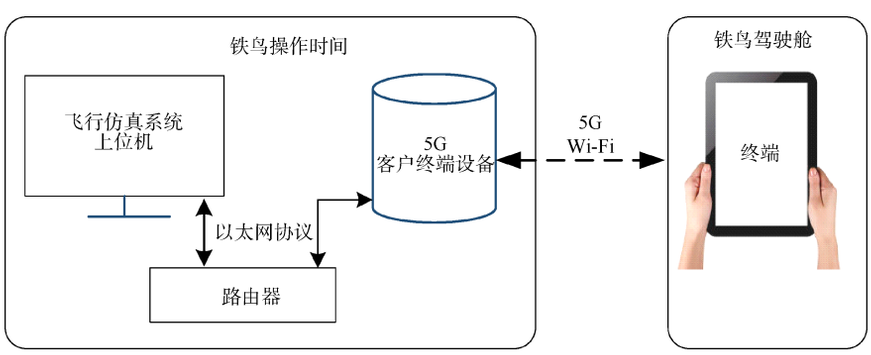


图2　基于5G无线通信的铁鸟驾驶舱终端显示系统框架

端均可通过Wi-Fi连入内部局域网.在网络配置部分,由于飞行仿真系统的IP地址已经被定义,故更改5G CPE的局域网IP地址,以飞行仿真系统为准.



图3　5G CPE网络配置界面

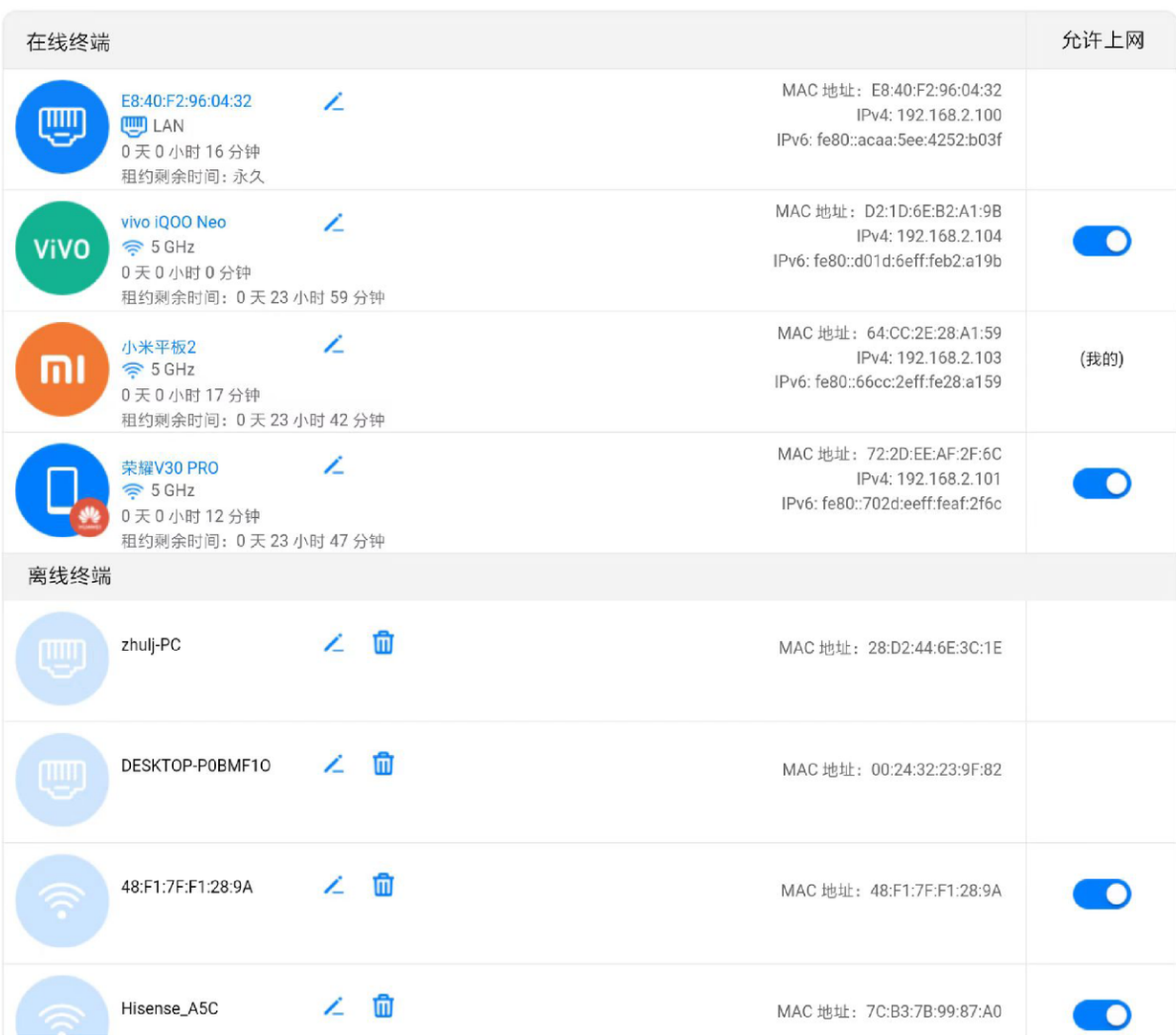


图4　无线终端网络配置界面

3 5G驾驶舱应用铁鸟试验

在飞控系统地面综合试验过程中,为了充分验证飞行包线范围内各个状态下飞控系统的功能和性能,需要将飞机模型配置在不同高度和速度的状态点,而要维持一定的速度和高度,则通过设置一定的油门和平尾角度来实现,这一过程称为配平[14-15].

铁鸟试验台面向飞控试验,对试验构型有符合性要求,安装有真实的飞控系统电子成品试验件、飞控系统作动器、驾驶舱操纵组件及舵面结构试验件等.铁鸟驾驶舱内通常配置一块配平控制板,通过配平控制板向驾驶员提供人工配平水平安定面的操纵输入,在模拟飞行试验时,需要在驾驶舱依据配平数据手动调整油门开度与平尾角度.在铁鸟试验时,手动调整水平安定面位置会与配平目标值存在一定误差.水平安定面(平尾)作为飞机上最大的舵面,是飞机纵向操纵稳定性的保证,其微小的误差会使得气动力产生急剧变化.手动配置不仅存在精度的问题,也增加了人力工时的投入,影响整个试验的效率.因此,仿真模型根据配平解算的油门位置和平尾偏度不能直接注入系统.

在以往的飞控系统铁鸟试验过程中,操作间的人员试验依据飞行仿真系统的模型确定水平安定面角度的目标值和当前水平安定面偏度,并通知驾驶舱试验人员手动操控人工配平驱动水平安定面运动至目标角度,在实际操纵过程中经常出现配平方向错误进而影响试验效率,且配平的角度往往不容易把握,造成配平角度误差比较大,使飞机模型跑偏,导致试验无效.手动配置存在精度低(±0.3°)、费时长(平均35.1 s)和耗费试验资源(需要多增加1名试验人员)等问题,影响整个试验的效率.若要使配平角度误差比较小,则需要反复的试凑,耗时长且过程无法固化,受到人为因素较多.

结合以上原因,应用5G无线通信的铁鸟驾驶舱终端显示系统到飞控系统铁鸟人工手动与自动配平试验.按照铁鸟驾驶舱终端显示系统上的水平安定面位置要求配置配平位置,通过水平安定面配平的上下位机将人工配平转换为控制器自动化、高精度和低延时的配平,飞行员在驾驶舱可以直接通过终端触屏上实现自动配平,节省了大量的人力与时间资源.

在铁鸟驾驶舱试验中应用5G铁鸟驾驶舱与未应用进行了对比分析,结合实际2020年的大数据取样,排除故障和特殊点等,在铁鸟试验配平效率影响因素中,未应用5G驾驶舱的试验点数量为212个,应用5G驾驶舱的试验点数量为9 788个,未应用5G铁鸟驾驶舱操作配平开关的铁鸟试验点数量占比为2%,未应用5G铁鸟驾驶舱人工操作时间是12.72 h,应用5G铁鸟驾驶舱的配平试验平均配平时间缩短至0.92 h,试验效率显著提高.

4 结 论

本文分析了铁鸟驾驶舱与铁鸟操作间的数据通信方式,对于铁鸟试验的特殊性和保密性,应用专属的方案,针对民用飞机地面模拟试验过程中铁鸟操作间与驾驶舱的实时通信,提出了基于5G CPE和Wi-Fi技术的终端显示系统方案,与传统的有线试验屏幕共享拓展进行了对比,结合特殊的环境进行了内部网络的配置.将5G铁鸟驾驶舱应用在民用飞机地面半物理试验的科目中,对铁鸟试验效率的提高有着推进作用,为在铁鸟驾驶舱应用5G无线通信工程应用领域奠定了一定的基础,同时也为其他类似的半物理仿真平台场景应用提供了重要的参考意义.

参 考 文 献

[1] 孙运强.大型民用飞机电传飞控系统验证技术研究[J].民用飞机设计与研究,2012(3):8-13+21.

[2] 张德发,叶胜利.飞行控制系统的地面与飞行试验[M].北京:国防工业出版社,2003.

[3] 赵治龙,王银泽,杨其林.飞机飞控系统铁鸟台设计与改进[C]//中国航空协会.探索 创新 交流:第六届中国航空学会青年科技论坛文集(下册).沈阳:航空工业出版社,2014.

[4] 张龑,李伟.电传飞行控制系统铁鸟试验方法优化设计[C]//《测控技术》杂志社.2017年航空试验测试技术学术论文集.武汉:中国航空工业技术装备工程协会,中国航空学会测试技术分会,2017.

[5] 陈蕾.5G技术在航空装备中的应用[J].国际航空,2020(9):52-54.

[6] 朱红.模拟飞行视景系统发展现状和趋势[J].科技资讯,2012(3):244.

[7] 周涛,李璐.民用飞机电子飞行仪表仿真系统设计与实现[J].电子设计工程,2014,22(22):168-171.
[8] 赵鹏轩,朱江.飞行仿真技术在飞行控制系统研制中的应用研究[J].测控技术,2018,37(B11):383-386.
[9] 张玲,王亚红,马力.基于飞控系统铁鸟试验的飞行仿真系统设计[C]//王彤.2016航空试验测试技术学术交流会论文集.北京:测控技术编辑部,2016.
[10] 郭腾飞,王越之.频响试验在飞控系统地面验证试验中的应用概述[J].科技视界,2017(5):39+147.
[11] 项华,侯世芳,崔保中.某型飞机铁鸟试验台操纵系统动态试验研究[C]//王彤.2015航空试验测试技术学术交流会论文集.北京:测控技术编辑部,2015.
[12] 陈军俊.5G CPE发展现状与展望[J].科技传播,2019,11(20):126-127.
[13] 张宁.5G CPE语音通信解决方案[J].中国新通信,2020,22(8):58-59.
[14] 顾宏斌.飞机地面运行的动力学模型[J].航空学报,2001,22(2):163-167.
[15] 吴胜亮,乔文峰.工程模拟器在线自动配平系统设计[J].科技视界,2018(23):1-6.

(责任编辑:兰丽丽)

(上接第23页)

2009,18(9):7566-7579.
[11] 陈婷婷.MEMS压电-磁电复合式微能源器件优化设计制造及其性能研究[D].太原:中北大学,2014.
[12] LI Y, TANG T, LIU H, et al. An electromagnetic-piezoelectric-triboelectric hybridized energy harvester towards blue energy[C]//TIAN Z Q, ZHANG H X, SUN D H, et al. 2021 IEEE 16th International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS). Xiamen: The Institute of Electrical and Electronics Engineers,2021:1070-1073.
[13] 李志宏,王良,徐圣,等.压电电磁复合式振动能量采集器模型的研究[J].压电与声光,2017,39(4):526-530.
[14] 荣训,陈志敏,曹广忠.一种基于压电效应的振动能量收集电路[J].电子技术应用,2015,41(8):37-39+46.
[15] TOMIMATSU Y, TAKAHASHI H, KOBAYASHI T, et al. A piezoelectric cantilever-type differential pressure sensor for a low standby power trigger switch[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering,2013,23(12):125023.
[16] 张振振,娄军强,贾振,等.压电-电磁复合振动俘能器的耦合负载特性及俘能性能[J].振动工程学报,2020,33(3):459-466.
[17] BADEL A, BENAYAD A, LEFEUVRE E, et al. Single crystals and nonlinear process for outstanding vibration-powered electrical generators[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control,2006,53(4):673-684.
[18] 罗翠线,李朋伟,王艳芬.多悬臂梁压电换能器电路的设计与实现[J].压电与声光,2015,37(2):342-345.
[19] 李政,唐祯安,余隽.一种压电能量收集与管理电路[J].电子器件,2015,38(1):122-125.
[20] 邓隆阳,黄海燕,卢兰光,等.超级电容性能试验与建模研究[J].车用发动机,2010(1):28-32.

(责任编辑:兰丽丽)