

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106505

基于 IMA 架构的 ATC 数据链 RCP 性能分析研究

李娜¹ 邓雪云² 毛建华¹ 林静³

(1. 上海大学 通信与信息工程学院 上海 200444; 2. 上海飞机设计研究院 上海 201210;
3. 中电科航空电子有限公司 成都 610000)

摘要: 机载数据链系统是现代民机的重要组成部分,为满足迅速增长的通信需求,机载数据链系统必须具备更快的传输速度和更高的稳定性。基于 IMA 架构的机载数据链系统是一种新型的数据链系统,各方面的性能尚未得到充分验证。为了验证基于 IMA 架构数据链系统的时效性,设计并搭建了一套数据链仿真验证系统。该系统包含机载端系统、VHF 链路和地面端系统,实验基于 ICAO Doc 9896 中数据链实际通信性能的测量方法,在地面应用端读取并记录了 60 条上行报文的发送时间以及收到下行响应报文的时间。结果表明,基于 IMA 架构的数据链通信系统符合 RCP 240 性能要求。

关键词: IMA;数据链;所需通信性能;空中交通服务

中图分类号: V243 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 590.6510

Research and analysis of ATC datalink RCP based on IMA architecture

Li Na¹ Deng Xueyun² Mao Jianhua¹ Lin Jing³

(1. College of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China;
2. Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China;
3. China Electronics Technology Avionics Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract: The onboard datalink system plays a significant role in civil aircraft systems nowadays. It should be developed to be faster and be equipped with higher stabilities so as to satisfy the increasing demands of communication. The onboard datalink system based on the IMA architecture is a new system and its performance has not been verified adequately. In order to verify the Required Communication Performance of this kind of datalink system, the paper designs and builds a simulation system, which including the onboard system, VHF link and the ground system. The ground system loads and records the time of 60 uplink messages and the according response messages based on the methods given in the ICAO Doc 9896. After calculating and analyzing the results, it comes to the conclusion that the datalink communication system based on the IMA architecture meets the RCP requirements.

Keywords: IMA; data link; required communication performance; air traffic service

0 引言

在民航领域,飞机通过使用先进的电子技术改善性能。飞机的航电系统随着电子技术的发展不断地演变,主要有联合式阶段和综合模块化阶段。在联合式架构中,飞机使用大量的数据总线连接各个独立设备;在综合模块化的架构中,飞机能够实现资源共享。航电系统正逐步向分布式综合化和高度集成化的趋势发展^[1]。

机载数据链系统是航电系统的重要组成部分,航空电子技术、航空运营要求的不断发展、新技术的出现均促使数据链系统架构不断地改进,越来越多的功能模块将会以软

件的形式驻留在综合模块化航电(Integrated modular avionics, IMA)平台中^[2]。在传统的联合式数据链系统中,各个功能模块功能相对独立,在一定程度上阻碍了通信系统的综合化。在基于 IMA 架构的数据链系统架构中,数据链应用和数据链协议栈都驻留在 IMA 中,通过硬件分区和软件资源共享,能够显著地降低产品体积、重量,并提高系统集成度及可靠性。机载数据链系统正逐步向集中式发展。基于 IMA 架构的数据链系统作为一种比较先进的架构,各方面的性能并未得到充分的验证。因此,本文将设计一套仿真实验验证基于 IMA 架构的数据链系统是否符合 RCP 240 的性能要求,为其在实际飞行中的符合性验证奠

定基础。

本文首先介绍了空地数据链通信系统,在对机载数据链系统进行介绍的基础上描述了基于 IMA 架构的机载数据链系统,最后设计并搭建了包括机载端系统、链路和地面端系统端的通信仿真系统。仿真实验结果表明,基于 IMA 架构的数据链通信系统符合 RCP 性能需求。

1 地空数据链通信系统简介

民机主要采用甚高频(very high frequency, VHF)、卫星通信(satellite communication, SATCOM)和 高频(high frequency, HF)进行语音通信。由于语音通信存在速度较慢、占用信道时间长、易受人为因素的干扰等缺点^[3],目前已经不能满足迅速发展的民航事业的通信需求^[4]。数据通信凭借误码率低、传输速率快、抗干扰能力强等特性,逐渐成为民航通信中的重要方式^[5]。

地空数据链支持飞机和地面站之间的数据传输^[6]。数据链系统承载的数据包括航空公司运营控制数据、空中交通服务数据、气象数据等。其系统组成如图 1 所示,该系统包括机载部分、地空网络和地面系统^[7]。系统使用 VHF、SATCOM、HF 等媒介,将飞机和地面通信商网络进行连接,从而实现机载数据链系统与航空公司、空中交通管制台等地面终端之间的数据传输^[8]。

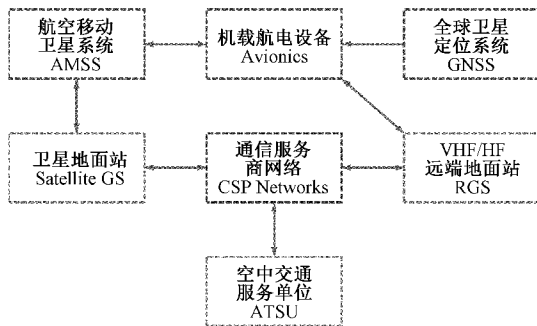


图 1 地空数据链通信系统组成

地空数据链系统的实施在一定程度上弥补了语音通信的不足,显著提高了飞行过程中飞行员和地面系统之间的通信质量和效率^[9]。数据链系统的实施还能够为远程监控^[10]、空中交通管理等提供有效的支持,在民航通信领域中发挥了至关重要的作用^[11]。

2 基于 IMA 架构的机载数据链系统

2.1 机载数据链通信系统

机载数据链系统的组成如图 2 所示。系统主要包括功能应用、通信管理功能(communication management function, CMF)、应用操作界面和无线电台。

CMF 是机载数据链系统的核心。CMF 连接着收发机和机载数据链应用、各类机上终端。CMF 有两种实现形式,在传统的系统架构中,CMF 功能通过独立的硬件设备

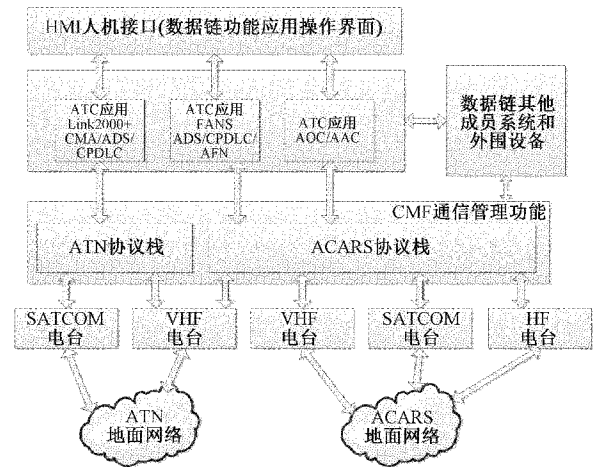


图 2 机载数据链系统组成

实现,称为通信管理单元(communication management unit, CMU)。在新型的数据链系统中,CMF 功能通过软件的形式实现,称为 CMF 并驻留于 IMA 的通用处理模块中^[12]。在对民机的数据链系统进行设计时,需要根据飞机航空电子系统的整体架构选择使用 CMU 或者 CMF^[13]。

数据链功能应用可分为空中交通管制(air traffic control, ATC)、空中交通服务、航空公司运营通信 3 大类。本文将 ATC 数据链系统中的管制员-飞行员数据链通信(controller-pilot datalink communication, CPDLC)应用为例,通过测量 CPDLC 报文的传输时间对其 RCP 性能进行验证。

2.2 基于 IMA 的机载数据链通信系统架构

在联合式机载数据链通信系统中,需要大量的数据总线连接 CMU、各类端系统和子网络。另外,ARINC 429 总线传输速率比较低,且为单向传输,严重阻碍了通信系统的综合化。因此,机载数据链系统逐步向基于 IMA 架构的集中式发展。

基于 IMA 架构的机载数据链系统如图 3 所示,在此架构中,电台的作用是接收来自数据链协议栈的下行报文并发送到地面;接收地面发出的上行报文并发送给数据链协议栈。远程数据接口单元(remote data and interface units, RDIU)在数据链协议栈和电台之间进行数据转换和路由,将电台发出的 ARINC 429 数据转换成 ARINC 664 数据发送给协议栈,并将协议栈发出的 ARINC 664 数据转换成 ARINC 429 数据发送给电台。

IMA 通用处理模块中驻留了 ATC 数据链应用、CMF 和其他一些端系统。CMF 提供路由功能,包括飞机通信寻址和报告系统协议栈和航空电信网双协议。CMF 也能够为飞机接收和发送的数据链报文提供记录功能。

ATC 数据链软件和飞机通信寻址和报告系统协议栈之间通过 ARINC 664 总线进行通信,遵循 ARINC 664 通信协议。ATC 数据链应用与多功能显示单元之间的通信通过 ARINC 664 总线实现,遵循 ARINC 664 通信协议。

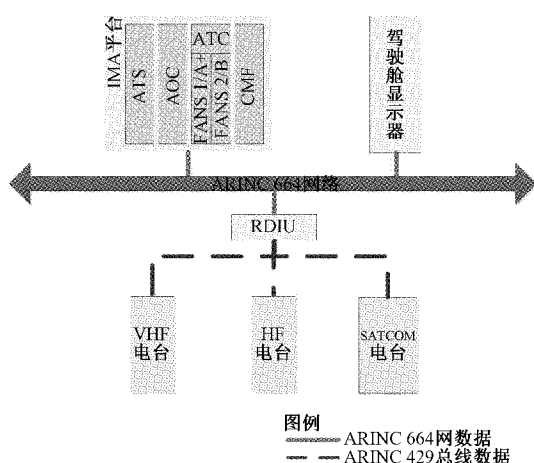


图 3 基于 IMA 架构的机载数据链系统

基于 IMA 的集中式机载数据链系统使用传输速率更快的 ARINC 664 总线,使其传输速度相较于联合式的系统得到了很大的提升。此外,ARINC 664 总线可靠性高、可拓展性强、易于维护^[14]。在民用飞机领域,空地数据链通信主要以文件型消息为主,因此,对于新型的民用飞机,建

表 1 RCP240 规范(CPDLC)一操作时间与连续性

ACP	管制员	ATSU 系统	通信网络	机载系统	飞行员响应	机载系统	通信网络	ATSU 系统	管制员
99.9%(ET)	$P_{C/ATSU(30)}$	$P_{ATSU(15)}$	$P_{NET(120)}$	$P_{AIR(15)}$	60	$P_{AIR(15)}$	$P_{NET(120)}$	$P_{ATSU(15)}$	$P_{C/ATSU(30)}$
95%(TT)	$P_{C/ATSU(30)}$	$P_{ATSU(10)}$	$P_{NET(100)}$	$P_{AIR(10)}$	60	$P_{AIR(10)}$	$P_{NET(100)}$	$P_{ATSU(10)}$	$P_{C/ATSU(30)}$

实际通信性能(actual communication performance, ACP)表示通信系统的运行性能。从运行角度看,要求飞机系统、通信网络、地面系统均需达到 RCP 240 规范中要求的通信性能水平。因此,本文将通过测量数据链系统的 ACP 验证其 RCP 240 符合性。

本文将设计数据链通信系统仿真方案,对基于 IMA 架构的机载数据链系统进行 ACP 测量,验证此数据链系统通信系统是否符合 RCP 性能要求。

3.2 CPDLC

CPDLC 是 ATC 数据链系统中重要的应用之一,本文将通过测量 CPDLC 报文的传输时间验证数据链系统的性能。CPDLC 是一种空中交通管制手段^[17],管制员利用文本的形式为飞行员提供实时管制信息,这种手段在一定程度上解决了传统话音通信信道拥挤、误解、信号失真等不足。CPDLC 数据链报文的的基本内容包括管制员对飞行员发出的管制指令、飞行员通过报文向管制员发送请求并对管制员的相关指令做出响应、自由报文等内容^[18]。

当 CPDLC 应用完成初始登录后,将在飞机与地面站之间建立一个连接。图 4 所示为 CPDLC 建立连接的过程。在 CPDLC 完成空中交通服务设备通告应用(ATC facilities notification, AFN)登录后,ATSU 将向飞机发送 CPDLC 连接请求,飞机收到 CPDLC 连接请求后将发送下行报文确认连接。在连接成功建立后,飞机可以和 ATSU

议使用 IMA 架构的机载数据链通信系统。

此外,将数据链应用和数据链协议栈都驻留在 IMA 中,通过硬件分区和软件资源共享,能够显著地降低产品体积、重量,并提高系统的集成度及可靠性。

3 所需通信性能

3.1 RCP 240(CPDLC)规范

在运行概念中,RCP 被定义为支持特定空中交通服务功能的运行通信的性能要求^[15]。RCP 规范旨在说明航空通信系统所需的性能,并且可以支持飞行间隔的实施。RCP 将成为未来航空领域通信技术发展和应用的标准^[16],能够有效地促进航空通信市场的竞争力。

在 RCP240 规范(CPDLC)中,飞机完成一次通信交互的时间被分配至各个环节,如表 1 所示,包括机组、机载设备系统、通信网络、空中交通服务组件(air traffic services unit,ATSU)地面系统、管制员等。RCP 规范规定,在 99.9%的情况下,RCP 应不大于 240 s 的超时时间要求,在 95%的情况下,RCP 必须不大于 210 s 的标称时间要求。

进行 CPDLC 报文的通信。

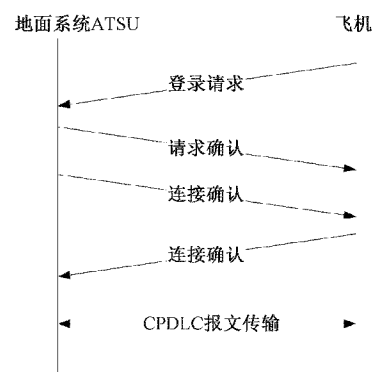


图 4 CPDLC 连接建立过程

4 通信系统仿真方案

4.1 仿真实验方案设计

本文设计的验证方案基于 ICAO Doc 9896。根据 ICAO Doc 9896 的规定,本文将设计数据链通信仿真系统,通过测量地面端 CPDLC 应用发送上行报文的时间与地面端接收到飞机发送相应下行响应报文的时间对 ACP 进行计算和分析^[19]。图 5 所示为 CPDLC 报文传输的流程,其中 1 表示 ATSU 向飞机发送 CPDLC 许可报文的时间,2 表示 ATSU 收到针对 CPDLC 许可的 MAS(Message Assurance)的时间,3 表示飞机发送 WILCO(Will

Comply) 回应 CPDLC 许可的时间, 4 表示 ATSU 收到 CPDLC 许可的 WILCO 回复时间。

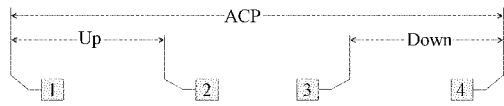


图 5 CPDLC 报文交互时间计算

式(1)中的 WILCO received 表示 ATSU 接收到响应报文的时间, Uplink sent 表示 ATSU 发送上行报文的时间。本文根据式(1)和图 6 的 CPDLC 报文传输时序设计了下文所描述的仿真验证系统。实验将测量 CPDLC 从地面端发送上行报文的时间和接收到下行响应报文的时间。

$$ACP = WILCO\ received - Uplink\ sent \quad (1)$$

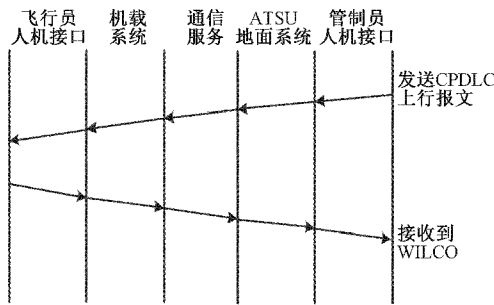


图 6 CPDLC 报文传输时序图

4.2 仿真系统组成

数据链通信仿真验证系统分为 3 个部分: 机载端仿真系统、VHF 链路系统、地面端仿真系统。其中:

1) 机载端仿真系统包括 IMA 平台、航电设备仿真器和 RDIU。其中 IMA 平台中驻留有机载应用 CPDLC 和 CMF 协议栈软件。航电设备仿真器中驻留有航电参数激励软件和显示终端仿真软件。航电参数激励软件为机载应用软件 CPDLC 和 CMF 协议栈软件提供必要的参数激励, 如航班号、UTC 时间、起飞/目的机场等; 显示终端仿真软件, 模拟驾驶舱显示器与机载应用 CPDLC 进行 ARINC 661 通信, 为机载应用提供人机交互界面。

2) VHF 链路系统包括 VHF 机载电台和 VHF 地面电台, 为本实验提供空地 VHF 通信链路。

3) 地面仿真系统提供数据链服务供应商和 CPDLC 地面系统仿真。

数据链通信仿真系统总体架构如图 7 所示。

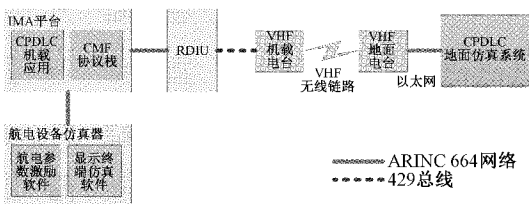


图 7 仿真系统总体架构

数据链通信仿真系统组成如图 8 所示。

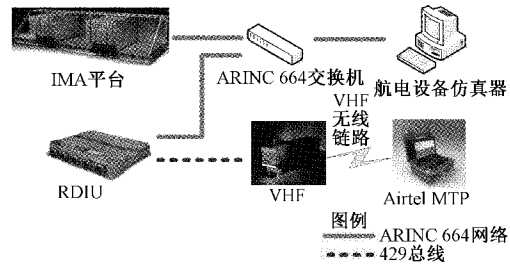


图 8 仿真系统组成

4.3 仿真结果分析

1) 实验过程

- (1) 启动所有设备;
- (2) 打开 CPDLC 机载应用界面, 进行登录操作;
- (3) 打开 CPDLC 地面应用界面, 建立 CPDLC 连接, 连接建立成功;
- (4) 在 CPDLC 地面应用界面编辑并发送 CPDLC 上行报文;
- (5) 在 CPDLC 机载应用界面响应 CPDLC 上行报文;
- (6) 在 CPDLC 地面应用界面读取并记录每条 CPDLC 上行报文的发送时间以及收到下行响应报文的时间, 如图 9 所示。

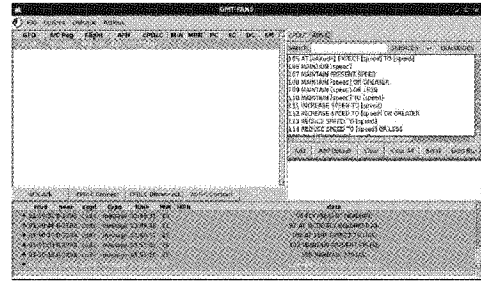


图 9 CPDLC 地面应用示意图

2) 实验结果分析

在上述的实验操作下, 实验从地面端 CPDLC 应用发送了 60 条报文, 在真实的 VHF 信道上传输, 测量并记录了图 5 中各个节点的时间。在不考虑飞机移动而产生的多普勒频移和信道噪声的情况下, 对实验测量的 ACP 数据进行计算和分析, 实验结果如图 10 所示。图 10 是 CPDLC

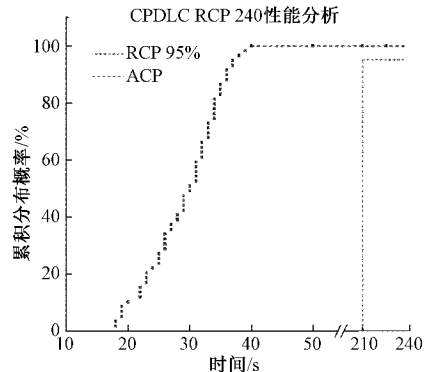


图 10 CPDLC ACP 性能分析

的 ACP 累积分布图,从图 10 中可以看出,CPDLC 满足 RCP 240 的要求,即在 99.9%的情况下,RCP 不大于 240 s 的超时时间;在 95%的情况下,RCP 不大于 210 s 的标称时间要求。

5 结 论

本文描述了基于 IMA 架构的机载数据链系统,设计了包括地面端系统、机载端系统和 VHF 通信链路的仿真验证方案,通过对 CPDLC 报文传输时间的测量和分析,验证了基于 IMA 架构的机载数据链系统符合 RCP 240 的要求。本实验在实验室理想环境下进行,初步验证了 IMA 架构的机载数据系统符合 RCP 性能要求,没有考虑实际飞行中受到的各类干扰,对于基于 IMA 架构数据链系统的符合性验证还需在实际飞行中进行进一步分析。

参考文献

- [1] 丁汀. 机载数据链通信系统综合调研、分析与设计考虑[J]. 民用飞机设计与研究,2016(2):69-74.
- [2] 王运盛. 综合模块化航空电子分区软件可靠性研究[D]. 成都:电子科技大学,2017, DOI: CNKI: CDMD;1.1017.076423.
- [3] YAO G. To improve the real-time performance of airborne data link communication system [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021, DOI: 10.1155/2021/5558089.
- [4] 彭宁,何永福,王少军,等. 飞行数据异常检测技术综述[J]. 仪器仪表学报,2019,40(3):1-13.
- [5] 袁树德,陆晓刚. 民用飞机数据链端系统通信协议分析[J]. 民用飞机设计与研究,2016(2):58-60.
- [6] 夏大旺. 民用飞机机载地空数据链系统研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2014.
- [7] 潘云飞,李艾婷. ACARS 地空数据通信技术在民航领域中的应用[J]. 电子技术与软件工程,2020(5):10-13.
- [8] 罗攀,孙毅刚. 基于软件无线电的甚高频数据链模式 4 收发机设计[J]. 国外电子测量技术,2020,39(5):49-54.
- [9] 袁树德. AFDX 航电测试中的地空数据传输技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.
- [10] 刘引川. 基于北斗短报文的 ADS-B 发射器设计与验证[J]. 电子测量与仪器学报,2019,33(11):162-168.
- [11] 王鹏,曹力,林静,等. 地空数据链通信差分分解调算法研究[J]. 科学技术与工程,2013,13(14):4125-4129.
- [12] 马莹莹,刘青春,胡飞,等. 下一代综合模块化航空电子系统关键技术研究[J]. 航空电子技术,2019,50(4):1-9.
- [13] 宋金洋,解丽荣. 民机数据链系统的设计考虑[J]. 科技创新导报,2015,12(22):88-89.
- [14] 赵璠,徐进. AFDX 网络数据分析系统设计[J]. 国外电子测量技术,2018,37(5):102-105.
- [15] 张昊. 大型客机所需通信性能研究[J]. 科技创新导报,2012(22):23-24.
- [16] 张夏,孙有朝,张越梅,等. 运输类飞机运行符合性验证规划方法研究[J]. 电子测量技术,2021,44(1):76-82.
- [17] 王兴隆,贺敏. 空中交通网络物理系统影响力节点排序与抗毁性研究(英文)[J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2021, 38(2):288-297.
- [18] 李丹,张晓. 空管监视系统中的无线通信技术及其安全性分析[J]. 电子技术应用,2020,46(9):29-33.
- [19] 邓雪云. 民用飞机所需通信性能研究[J]. 科技信息,2014(10):88.

作者简介

李娜,硕士,主要研究方向为机载数据链通信技术。

E-mail:hope19970130@163.com