

自动相关监视系统信息传输性能 分析方法及测试平台构建

Analysis Method and Test Platform Establishment for the Automatic Dependent Surveillance System Signal Transmission Performance

丁汀 / Ding Ting

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

本研究目的在于提出一种在民用飞机机载自动相关监视系统(Automatic Dependent Surveillance, 简称 ADS)系统设计和试验过程中实时/非实时检测该系统端到端信息传输性能的分析方法, 并进行相应的地面测试平台搭建设计。对口于飞机的机载系统, ADS 监视系统信息传输性能分析平台能够快速准确定位 ADS 系统的试验故障, 实现有效的排故和分析, 直观地评估自相关监视系统的工作状态。这项研究的结果有助于推动机载合同式自动相关监视系统(Automatic Dependent Surveillance-Contract, 简称 ADS-C)和广播式自动相关监视系统(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast, 简称 ADS-B)机上地面功能试验、民机机上地面试验、民机飞行试验等各项工作的开展。该平台在飞机交付以后, 也有利于维护工作与客户服务工作的进行。

关键词: 自动相关监视系统; 实时/非实时检测; 分析方法; 地面平台搭建

中图分类号: V243.1

文献标识码: A

[Abstract] The purpose of this research is to contribute an analysis method to real-time/unreal-time detection of the performance of the onboard Automatic Dependent Surveillance (ADS) signal end-to-end transmission during the civil aircraft development and validation phase. Establishing ground test platform is completed as well. Working with the onboard system, this ground platform is capable to locate failures during the test, help with the failure removal and analysis, and estimate the onboard ADS systems' working status intuitively. This research contributes a promotion to the onboard-ground aircraft test, civil aircraft ground validation, civil aircraft flight validation of the onboard automatic dependent surveillance - contract (ADS-C) and automatic dependent surveillance - broadcast (ADS-B) system. It also offers benefits to the maintenance and custom service work after the aircraft delivery.

[Key words] Automatic Dependent Surveillance (ADS); Real-time/Unreal-time Detection; Analysis Method; Ground Platform Establishment

0 引言

自动相关监视系统(Automatic Dependent Surveillance, 简称 ADS)是目标主动报告自身位置信息, 供监视者对其进行监视的一种监视方式, 随着卫星导航定位技术和空地数据链技术的发展, 由国际民用航空组织 ICAO(International Civil Aviation Organization, 简称 ICAO)提出并倡导的一种新的监

视技术, 主要用于空中交通管理中对航空器飞行动态的跟踪监视。

ADS 根据工作模式主要分为 ADS-C 和 ADS-B 两种。ADS-C 是在监视方和被监视方建立合约的基础上, 由被监视方根据合约内容主动向监视方提供自身位置及所需信息的一种监视方式; 它所实现的是一种端对端的按需监视。而 ADS-B 则是目标周期性广播自身位置及相关信息, 供外界对其进行

监视的一种监视方式;其目标的信息广播完全自主,监视方通常不对其进行干预和控制。两种模式的自动相关监视系统在控制方式、信息内容、传输规程、监视效果以及使用场合等方面有一些差异。作为国际民航组织推荐的标准模式,均已在一些国家和地区有不同程度的推广应用。

目前,民航于2000年在中国西部L888航路上启用了ADS-C监控,实现了我国西部高山、沙漠、无人区的空域监视。由于ADS-C对地面空管设施依赖较少,从而大幅度降低建设和维护费用。但ADS-C在依赖于卫星等地空数据链传输信息时航迹位置更新率通常为1min/次~2min/次,难以满足实时、精确的空域监视要求。

现阶段民航极力倡导的自动相关监视系统采用广播式体制,即ADS-B。监视数据通过适当的数据链手段,例如S模式1090MHz、UAT(Universal Access Transceiver 通用访问电台)或VDL M4(Very High Frequency Datalink Mode 4 模式4甚高频数据链),从航空器广播出来,视距内的地面基站和约150n mile内的航空器能够接收到这些信息。ADS-B数据的更新频率最高可达到1Hz~2Hz,远高于传统的一/二次雷达和ADS-C,管制员可以在自动化系统的屏幕上看到更加精确的、更实时的空中态势和中期冲突告警等信息,机组也可以从机舱显示器中看到周围航空器的情况,从而主动规避飞行冲突。现阶段,我国正在西南地区进行的ADS-B的验证试验,足以见得民航推进ADS-B的决心。

无论采用哪种自相关监视手段,它的信息传输质量是保障飞行安全的重要手段。机载设备、地面系统以及通信链路的性能均会影响整个系统的工作可靠性。对于单个设备和系统,机载自相关监视设备必须要符合适航规定;地面系统也有详细的规范。这些规范要求对保障整个自相关监视系统通信质量起到了非常积极的作用。然而,事实上通信链路对信息传输质量的不容忽视,目前还没有民航自相关监视系统性能的整体验证方法。

在现有的技术中,通常是通过测量仪器检测无线信号强度的方法来检验民航地空通信链路信息传输性能。这是一种间接检测无线信号传输质量的方法,只能通过信号强度估计信息传输的质量和稳定性。由于无线传输时接收端并不知道原始信息的内容,在一定程度上限制了实时验证分析的进行。

ADS-B和ADS-C两类系统同属监视系统,主体功能类似,但由于工作机制和信息流控制方面存在的差异,现阶段系统之间无法进行有效的沟通,信息共享困难,造成了系统资源浪费,降低了ADS系统整体性的运行效率。在系统设计、验证和分析过程中,建立ADS-B和ADS-C之间的信息共享机制,使两种系统能够充分利用对方已具备资源,不仅实现系统间的优势互补,还可以实现两系统的对比验证,从而实现对机上各子系统传输的相似信息进行地面收集和整合,通过差异比较的结果,支持排故,进行安全性评估,最大限度地发挥机载系统综合效益,提高验证分析效率。

建立有效的ADS-B和ADS-C信息共享平台是本研究的基础,在此信息共享平台的基础上,可以实现共享信息的对比分析;当对比分析得出初步结果后,结合飞行数据(非实时分析可采用QAR或FDR数据,实时分析可结合ACARS数据),进一步对两系统的信息传输进行准确地校准和定位分析,从而建立高效的系统级设计--验证反馈,完成ADS信息传输分析验证系统。

1 分析方法及测试平台描述

在对ADS信息传输性能进行综合测试和分析的过程中,飞行数据记录器(Flight Data Recorder,简称FDR)/快速存取记录器(Quick Access Recorder,简称QAR)作为机载信息的存储单元,综合记录了飞机飞行过程中的大量原始信息,可作为ADS信息的非实时比对基准。飞机通信寻址与报告系统(Aircraft Communications Addressing and Reporting System,简称ACARS)是目前投入实际应用最广的地空数据实时通信系统,其有效性也得到了较长时间的验证,同时ADS-B和ADS-C能够实时传输飞机位置等重要数据,大量信息具有相同属性,因此ACARS可以作为ADS信息的非实时比对基准。

本测试平台将以机载及地面ADS-B/ADS-C数据源为基础和依据,通过ADS-B、ADS-C、ACARS以及QAR相关信息的差异性对比分析,实现ADS信息传输的实时和非实时分析,检验和分析信息传输性能。本测试平台同时建立数据存储单元,存储进行系统验证与测试所需的数据样本,保证验证的数据具有可追溯性。

ADS监视系统信息传输性能分析平台对口于机载系统平台的ADS-B、ADS-C、FDR/QAR、

ACARS 系统;与平台协同工作的地面相关接收系统包括:ADS-B 地面系统、ADS-C 地面系统和 ACARS 地面系统;平台在其信息分析比较终端能够完成:ADS-B、ADS-C 和 ACARS 数据的差异性比较、差异数据的属性判断、ADS-B 和 ADS-C 传输信息的错误统计以及信息传输性能分析;平台的时间同步器建立时间同步触发机制,并确保所用的 ACARS、ADS-B 和 ADS-C 数据的时间一致性;平台显示终端用于显示分析结果。

本研究中的地面平台与机载设备测试平台中的测试激励机载接口和机载数据接口特性相结合,能够构建支持本平台系统运行的软硬件环境,并实现半主动式测试验证,确保验证与测试符合要求。

ADS 信息传输性能测试平台具体构成如下。

1) ADS-B 和 ADS-C 系统的差异性分析

ADS-C 是使用与航空电信网(Aeronautical Telecommunication Network,简称 ATN)相兼容的子网络的数据链信道支持双向数据链通信服务,其工作方式是基于使用从飞机获取的四维的位置信息(经度、纬度、高度和时间),通过数据链,按照空中交通服务(Air Traffic Service,简称 ATS)单位与飞机双方同意的约定来进行通信,从而经过地面计算机系统的处理,在显示系统上显示飞机航迹。ADS-B 系统是集通信与监视于一体的信息系统,由信息源、信息传输通道和信息处理与显示三部分组成。主要信息包括飞机的识别和类别信息、飞机的四维位置信息以及其它可能附加信息(冲突告警、飞行员输入信息、航向、航迹角、航线拐点、空速、环境等)。提供飞行间隔标准的监视是两系统的基本功能,是通信需求的重要组成部分。

ADS-B 和 ADS-C 两系统信息有一定的相似性,可以提供飞机自身位置等相关信息,在实现监视等功能上具有极强的互补性;但也存在较大的差异。ADS-B 是一种目标主动报告的广播监视技术,内容比较固定。而 ADS-C 是基于双方事先约定的端对端监视技术,因此报告内容、周期或触发条件等均可以在监视合约中确定,相对灵活。差异性分析有助于更加深入了解和掌握两系统的特点及性能,为建立两系统间的对比分析提供基础。以此为核心,需要对几方面内容进行研究:(1)信息的获取方式;(2)报告周期;(3)监视能力;(4)信息格式及内容。

2) ADS-B 和 ADS-C 系统信息共享平台

ADS-C 构成的是一个相对封闭的监视环境,其监视目标比较单一,监视内容可以根据设计要求灵活定制,但数据更新率较低。ADS-B 是一个相对开放的监视环境,其目标数量较多,数据更新率高,信息的格式和内容与 ADS-C 不完全相同。本质上讲,两种 ADS 的机载信息均来自于相同的传感系统,在集成环境下的信息传输过程中,如果两系统传输同属性信息存在差异,需要分析导致差异的原因,以进行信息传输过程中的故障定位和排除。信息共享是实现差异信息对比分析最有效的方法之一。为了方便对比分析,需要建立支持两系统信息共享的平台。在此平台基础上,完成监视信息等同属性信息的对比分析,实现两系统地空通信传输可靠性初步分析和验证。

为了实现 ADS-B 和 ADS-C 信息的相互转化,需要考虑以下三方面问题:

(1)完成 DO-212 格式和 DO-242A 格式间的转换;

(2)对 ADS-C 数据进行必要的补充,以适应 ADS-B 的监视周期要求;

(3)对 ADS-B 信息进行筛选过滤,防止未授权信息的扩散。

因此,本部分研究内容如下:

(1)ADS-C 的差值补点;

(2)ADS-B 信息的筛选过滤;

(3)ADS-B 和 ADS-C 格式转换;

(4)ADS-B 和 ADS-C 差异信息报告。

3)基于 QAR/FDR 的 ADS-B 和 ADS-C 传输信息非实时分析系统

在机上,来自不同传感单元的信息经过总线,最终集中到机载 ADS 系统,并形成符合 ADS 规范的数据,通过地空数据通信传送至地面。ADS 所需相关信息可以由以下航空电子设备得到:

(1)全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System,简称 GNSS);

(2)惯性导航系统(Inertial Navigation System,简称 INS);

(3)飞行管理系统(Flight Management System,简称 FMS);

(4)大气数据计算机(Air Data Computer,简称 ADC);

(5)其它机载传感装置/系统。

ADS 信息流的监控分析是分析验证集成环境

下 ADS 工作性能的有效方法。

QAR/FDR 真实记录了飞行过程的关键数据,其中包括 ADS 相关数据。一般认为,飞行数据记录器中的数据是可以信赖的,而且记录频率不低于 ADS 数据传输频率。作为 ADS 机载环境的数据分析基准,可以有效验证分析机载环境下 ADS 信息传输的可靠性和稳定性。QAR/FDR 数据只能在飞机着陆后通过下载进行使用,因此本部分利用 QAR/FDR 建立 ADS-B 和 ADS-C 传输信息非实时分析系统。需要重点关注的问题如下:

(1) QAR/FDR 相关信息的提取;

(2) ADS-B 和 ADS-C 传输信息可靠性、稳定分析及错误定位。

4) 基于 ACARS 的 ADS-B 和 ADS-C 传输信息实时分析系统

实时分析的主要目的在于分析验证 ADS 信息在地空传输过程中的性能。目前 ACARS 已经发展成为一种较为成熟可靠的地空数据通信方式,可以根据需要实时发送飞机位置、姿态等相关信息,涵盖了 ADS 报文要求内容。基于此,作为 ADS 信息地空传输实时分析的参考,ACARS 的数据可以满足要求。然而,现阶段民航普遍采用的 ACARS 传输速率较低,只有 2 400 bit/s,因此实时分析过程中需要考虑传输数据的时间配准和信息的提取。在这个环节,有如下需要重点关注的问题:

(1) ACARS 时间配准和相关信息的提取;

(2) ADS-B 和 ADS-C 传输信息可靠性、稳定验证分析及系统级错误定位。

2 ADS 监视系统信息传输性能分析平台构建

ADS 监视系统信息传输性能分析平台构建如图 1 所示,以下将对图 1 进行详细说明。

1) 信息载入及预处理工作站系统:建立 ADS-B、ADS-C、ACARS 和 QAR 数据的导入、遴选以及预处理平台,实现以下三方面。

(1) 读取 ADS-B、ADS-C 地面数据库里的数据,并进行转换。通过数据库访问方式分别访问(必要时可延时访问)相关 ADS-B、ADS-C 地面系统数据库,实现由外部 ADS-B、ADS-C 地面系统提供数据的接收和工程值转换。

(2) ADS 数据的预处理(ADS-B/ADS-C 数据滤除/插值处理)。

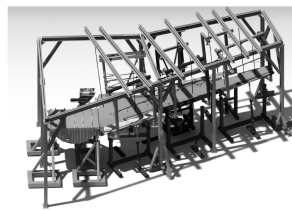


图 1 AD 监视系统信息传输性能分析平台构建图

(3) 数据的时间同步处理和相互符合性检验。

2) 测试和验证系统信息的共享机制。建立满足本测试平台要求的信息共享机制,以及数据格式规范,实现在此规范指导下的测试数据统一,具体包括:

(1) 数据格式的规范体系;

(2) 本系统要求的 ADS-B、ADS-C、ACARS 和 QAR 相关数据的规范格式转换器。

3) ADS-B、ADS-C 数据的对比分析系统。通过比较相同属性 ADS-B 和 ADS-C 数据,分析确定信息差异,明确差异属性,具体实现:

(1) ADS 的 DO-212/DO-242 数据转换器;

(2) ADS-B 和 ADS-C 数据比较器;

(3) 支持 ADS-B 和 ADS-C 数据的差异性比较结果显示和调用,以及差异分析结果显示和调用。

4) ADS 信息传输的实时分析系统。结合上述比较分析结果,借助 ACARS 中相同属性数据,进一步求证分析 ADS 实时传输可靠性和稳定性,实现:

(1) ADS 与 ACARS 数据正确性实时决策;

(2) ADS-B 和 ADS-C 传输数据差异率分析;

(3) ADS 信息传输稳定性/可靠性分析;

(4) 支持 ADS 与 ACARS 数据的差异比较结果显示和调用,以及差异分析结果显示和调用。

5) ADS 信息传输的非实时分析。利用本系统相关的 QAR 数据,实现 ADS 信息传输性能的非实时分析,实现:

(1) ADS-B、ADS-C、ACARS、QAR 相关信息的对比分析;

(2) 利用 QAR 数据判断 ADS-B、ADS-C、ACARS 差异信息属性;

(3) 定位差异误差信息位置(在机载传输,还是地空通信过程中产生);

(4) 非实时分析 ADS 信息传输稳定性和可靠性;

(5) 支持 ADS 与 QAR 数据的差异比较结果显示和调用,差异分析结果显示和调用。

6)数据存储。完成原始采集、系统运行等数据的存储:

- (1)实现原始信息的存储;
- (2)实现本平台运行产生的结果数据的存储;
- (3)实现平台系统运行日志的存储;
- (4)实现其他必要的系统运行信息的存储;
- (5)支持存储数据的导出。

7)ADS 地面激励系统:该机载 ADS 系统的地面激励系统符合机载测试平台的接口规范,并根据测试和验证要求产生和发送激励信号,实现对机载 ADS 系统的主动式触发。

8)ADS 工程信号接收机制:该机载 ADS 工程数据的地面接收接口平台符合机载测试平台的接口规范,接收来自机载设备测试平台中机载数据接口 ADS 数据工程值,并通过地面接收接口送至测试和验证系统信息的共享平台中。

3 平台工作步骤

ADS 监视系统信息传输性能分析平台在完成构建和调试后,工作步骤如下:

- (1)自相关监视(ADS-B 和 ADS-C)信息的译码,并转化为工程值。
- (2)与自相关监视相对应的 ACARS 信息的译码,并转化为工程值。
- (3)将转换完成的自相关监视信息存入数据库。
- (4)拟合译码所得 ACARS 数据,消除 ACARS 数据的奇异。
- (5)建立合理的时间同步触发机制,确保所用的 ACARS、ADS-B 和 ADS-C 数据的时间一致性。
- (6)ADS-B、ADS-C 和 ACARS 数据的差异性比较,并标注存在差异的数据。
- (7)本步骤中,以(4)中拟合后的 ACARS 数据为标准,判断差异数据的属性,并统计 ADS-B 和 ADS-C 传输信息的错误数量。
- (8)本步骤对检测获得的 ADS-B、ADS-C 数据进行性能分析,给出分析结果。

在所述步骤(1)中,对于 ADS-B 和 ADS-C 的译码,主要是两种方式中的相同属性参数的译码,译码应按照 DO-212/DO-242 规范要求进行,并且记录信息传送的时间。记录时间主要是为(5)、(6)中的时间同步触发比较提供条件。

在所述步骤(2)中,对于 ACARS 报文的译码,

主要是译码(1)中 ADS-B 和 ADS-C 中属性相同的参数,译码应按照 ARINC618/ARINC620 规范要求进行,并且报文信息传送的时间。需要注意的是,在开展自相关监视信息传输性能验证时,要求 ACARS 相关属性报文保持足够高的传输频率。

在所述步骤(3)中,数据的存储包括 ADS-B、ADS-C 和 ACARS 的相同属性数据,数据的地面传输可采用局域网或 RS422/485 方式。

在所述步骤(4)中,ACARS 数据的拟合可采用常规的二次/三次数据拟合方法,保证拟合曲线光滑,远离曲线的数据认定为奇异点,并标注提醒。

在所述步骤(5)中,时间同步触发的时间基准应以 ADS-B、ADS-C 和 ACARS 数据记录最大时间间隔为参考。

在上述步骤(5)完成后,利用时间同步触发机制可以生成一个时间同步器。时间同步器的作用是保证在比较参数时,可以从数据库读取相同时间点的 ADS-B、ADS-C 和 ACARS 数据。

所述的自相关监视(ADS-B 和 ADS-C)信息主要包括飞机识别号、飞机位置、飞行高度、空速一些基本参数。

所述的与自相关监视相对应的 ACARS 信息也包括飞机识别号、飞机位置、飞行高度、空速一些基本参数,参数涉及到多种类型 ACARS 报文内容时,需要对每条报文内容独立译码,并筛选。也可以自定义 ACARS 报文参数,并译码,自定义 ACARS 报文必须符合 ARINC618/ARINC620 规范要求。

所述的对检测获得的 ADS-B、ADS-C 数据进行性能分析,可以用错误率、最小二乘、卡方检验。

4 技术效果和研究意义

通过本研究获得的自相关监视信息传输性能验证系统通过其中的 ADS-B、ADS-C 和 ACARS 数据的差异性比较和分析,可以直接反映出自相关监视系统的实时通信性能,因为比较的参数均为同一时刻由同一个机载传感器测量获得,同时所选取的 ACARS 数据作为比较基准,经过长期的实际使用验证是稳定可靠的。因此可以确定,数据的差异一定来自于信息的传输过程,即使传感器检测数据不正确,也会有相同结果。

ADS-B 和 ADS-C 传输信息错误数量的统计直接给出差异数据的数量,而对获得的 ADS-B、ADS-C 数据的性能分析则可以对错误信息有一个整体的

概念。在飞机设计、制造和使用过程中,均需要验证分析自相关监视系统的信息传输性能。

本验证分析方法可以应用于飞机航电通信系统设计、集成和飞机试飞过程中的通信监视系统性能的验证分析等方面,也可以应用于民航飞机通信监视链路的性能测试。

ADS 监视系统信息传输性能分析平台的建立可对大型民用客机 ADS-B 和 ADS-C 系统的研制、验证取证和维护工作产生巨大的推动作用,具体体现在以下几方面。

(1) 通过测试平台上对 ADS-B 和 ADS-C 系统的差异性分析,有助于深入了解和掌握两系统的特点及性能,为建立两系统间的对比分析提供基础,有助于加深技术理解,辅助详细设计顺利进行;

(2) 通过 ADS-B 和 ADS-C 系统信息共享平台的构建,监视两个系统等同属性信息的对比分析,进行错误定位,实现地空通信传输可靠性初步分析和验证;

(3) 作为 ADS 机载环境的数据分析基准, QAR/FDR 的 ADS-B 和 ADS-C 传输信息非实时分析系统,可以在非实时环境下进行 ADS 错误信息比对和定位,有效验证分析机载环境下 ADS 信息传输的可靠性和稳定性;基于 ACARS 的 ADS-B 和 ADS-C 传输信息实时分析系统,可以实时地进行 ADS 错误信息比对和定位,在飞行中分析机载环境下 ADS 信息传输的可靠性和稳定性;

(上接第 58 页)

布置设备与飞机型号有关,环境因素影响可以忽略;

(2) 气动加热因素对机翼油箱的影响主要在飞机飞行阶段,与环境空气温度、飞行马赫数、传热系数等有关,可以通过式(6)进行计算;

(3) 太阳辐射对机翼油箱在飞行状态和地面状态均有影响,与对流换热系数,外界环境温度、油箱壁面油漆对金属吸收率等有关,可以通过式(7)进行计算;

(4) 地面辐射只影响机翼油箱在地面停机状态下,下蒙皮的温度,通过式(9)进行计算,与环境温

(4) 测试平台的构建,对配合完成 ADS-B 和 ADS-C 机上地面功能试验和 MOC5、MOC6 的数据分析和排故工作有着重要意义,能够为两个系统的适航验证工作提供强有力的支持;

(5) 对于飞机交付后的客户支持工作,该系统具备对 ADS 进行日常监控、故障定位和支持可靠性评估的能力,能为航空公司进行高效率低成本的维护工作提供帮助;

(6) 本平台完成后,将使得主机商具备在整机运行模式下对数据链系统中飞机 ADS-B 和 ADS-C 功能进行综合测试的能力,将有助于提升大型民用客机的综合科技水平和市场竞争力。

参考文献:

- [1] 孙立新,陈亚青,刘国毅. ADS-B 空管监视系统误差分析与研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2011,35(4):798-801.
- [2] 冯泽,李斌,王党卫. 基于 CPDLC 和 ADS-C 的管制员工作站系统设计[J]. 科技信息,2011,13:23-24.
- [3] 胡飞. ADS-B 系统的原理分析与风险研究[J]. 科技传播,2011,3.
- [4] 张军,刘伟,朱衍波. ADS-B 数据评估技术研究[J]. Chinese Journal of Aeronautics,2011,4:461-466.
- [5] 王喆. ADS-B 数据精度与完好性评估[J]. 民航科技,2011,5.

度较为接近。

参考文献:

- [1] Michael Burns, William M. Cavage, Richard Hill. Flight-testing of the FAA Onboard Inert Gas Generation System on An airbus A320[R]. DOT/FAA/AR-03/58, June 2004.
- [2] AC25. 981-2A Fuel Tank Flammability Reduction Means [R]. December 2008.
- [3] 陶文铨. 传热学[M]. 西安:西北工业大学出版社.
- [4] 《飞机设计手册》编委会. 飞机设计手册第 15 册:生命保障和环控系统[M]. 北京:航空工业出版社,2001.