

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.06.019

引用格式:陈乐然.民航 VHF ACARS 数传通信系统消息处理方案[J].电讯技术,2014,54(6):796-802. [CHEN Le-ran. Message Processing Scheme for Civil Aviation VHF ACARS Data-communication System [J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(6): 796-802.]

民航 VHF ACARS 数传通信系统消息处理方案*

陈乐然**

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:介绍了民航超高频(VHF)飞机通信寻址与报告系统(ACARS)机载通信系统及通过该系统实现地空数据链通信管理采用的 ACARSIP 应用消息处理机制,采用了基于 DSP+FPGA 的 ACARS 通信系统消息处理方案,描述了上行消息处理、下行消息处理、CSMA 机制、信道质量检测、子网统计数据 and 审计模式等六个方面进行的设计与实现。最后对 ACARS 通信系统消息处理进行了总结分析,并指出了该实现方案可推广应用的方向。目前该方案已应用于国内民航 ACARS 数传通信系统中,并实现了与国际民航电台的互通,正确接收率达到 100%,通信稳定可靠。

关键词:民航飞机;地空数据链;飞机通信寻址与报告系统;数据传输通信;消息处理

中图分类号:TN919;V243.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)06-0796-07

Message Processing Scheme for Civil Aviation VHF ACARS Data-communication System

CHEN Le-ran

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: This paper introduces the civil aviation Very High Frequency (VHF) Aircraft Communication Addressing and Reporting System (ACARS) communication system and the air-ground communication management using the ACARSIP handling mechanism based on the civil aviation VHF ACARS communication system. The ACARS communication messages handling mechanism based on DSP and FPGA is used in the civil aviation VHF ACARS communication system, and the design and implementation of up-link signal processing, down-link signal processing, Carry Sense Multiple Access (CSMA) mechanism, channel quality detecting, subnet data statistics and audit pattern is described. Finally, the ACARS communication messages handling mechanism is analyzed and summarized, and its application future is pointed out. This scheme has been applied in china's first civil aviation ACARS data-communication system, and a stable communication quality of 100% correct rate of receiving is achieved as communicating with the international civil aviation radio.

Key words: civil aircraft; air-ground data link; ACARS; data-communication; message processing

1 引言

民航通信最早是通过高频(High Frequency, HF)和甚高频(Very High Frequency, VHF)话音通信完成的,但随着民航运输业的迅猛发展,民航通信业

* 收稿日期:2014-03-26;修回日期:2014-05-26 Received date:2014-03-26;Revised date:2014-05-26

** 通讯作者:clr_jk@sohu.com Corresponding author:clr_jk@sohu.com

• 796 •

务量大大增加,话音通信 VHF 频道拥挤和阻塞、HF 系统通信质量不高、人为因素干扰容易使人产生误解和错误等缺陷日益突出,直接影响到飞行安全和航班准点。为了提高通信链路的可靠性和完整性,航空公司引入了 VHF 地空数据通信系统,由于其传输速率快,抗干扰能力强,误码率低,已成为保障飞机安全、准点、效率和效益提高的必要手段^[1]。正是认识到数据通信的优越性,当前世界上很多地区均采用一种面向字符的 VHF 地空数据通信系统——飞机通信寻址与报告系统(Aircraft Communication Addressing and Reporting System, ACARS)。ACARS 系统地空通信的工作方式为半双工,数据链基于字符传输,同时采用无线信道载波侦听多路访问(Carry Sense Multiple Access, CSMA)通信协议,共同保证传输链路稳定可靠和信息的传输质量,具有资料和数据在航空公司内部共享以及增加信息量、降低成本等优点。

我国民航数据链网络的建设也主要支持基于 VHF 的 ACARS 数据链通信技术,但使用的是美国 ARINC 公司的 ACARS 系统。随着国内民航飞行量的快速增长,非常有必要实现国内自主研发的 ACARS 系统,同时储备自己的关键技术。基于上述需求,结合实际工程应用,在对 ACARS 关键技术深入研究的基础上,采用 DSP+FPGA 核心设计架构,配合其他功能设备,实现了国内自主研发的 VHF 地空数据链民航 ACARS 通信系统。

2 机载甚高频 ACARS 通信系统简介

ACARS 系统主要由机载系统和地面系统组成,其中机载系统由 ACARS 通信管理单元(Communication Management Unit, CMU)、综合显示控制器、机载 VHF 设备、飞机特性组件和相关线路、软件等部件组成,通过航电总线与航电系统连接,完成飞机话音和数据通信功能;地面系统由地面收发站和数据处理站、航空公司处理和分析终端等组成。

机载系统中的 CMU 和 VHF 设备通常作为 ACARS 数据链系统的机载终端,共同实现地空数据链通信管理,主要包括数据链通信的网络管理、数据路由、消息处理等功能。CMU 接收来自航电系统的各种应用消息,采用 ACARS 协议进行处理后,通过数据链子网(VHF 机载设备、HF 等)发送出去。本

文主要针对这些应用消息机制进行阐述,同时介绍了消息处理的设计与实现。ACARS 通信系统的消息包含两种消息:下行消息(即飞机向地面传送的消息)、上行消息(即地面向飞机发送的消息)。消息处理机制主要在 VHF 机载设备中完成。

VHF 机载设备的主要工作模式为 ACARS A,数据传输速率为 2.4 kb/s,信道接入方式采用 CSMA 方式。设备由电源、终端、信道及功放单元组成,其中终端模块是设备最核心处理模块,主要完成控制管理、数据处理、中频信号的 A/D、D/A 变换、调制、解调、协议等功能。ACARS 通信系统消息处理由其 中的数据处理单元完成,功能涉及 ACARS 上行消息处理、下行消息处理、CSMA 机制、信道质量检测、子网统计数据 and 审计模式等。

3 消息处理机制介绍

消息处理机制支持 ARINC 750 规范和 ARINC 618 协议。ARINC 618 主要描述 VHF ACARS 通信系统实现的功能、方法和过程,ARINC 750 中则具体定义了 CMU 和 VHF 机载设备之间的 ACARSIP^[2]消息,该消息明确了实现地空协议正常运行所需的所有交互信息。ACARSIP 让 CMU 和 VHF 机载设备协同运转,以实现 ARINC 618 中所定义的功能。

3.1 ACARSIP 消息帧格式及消息类型

3.1.1 消息帧格式

一个完整的上/下行消息帧如图 1 所示,由 1 个 Pre-key、1 个比特同步、1 个符号同步和 1 个消息块组成,其中 pre-key 值^[3](设备信道工作稳定时间)、比特同步段(位同步)、符号同步段(帧同步)称为 VHF 前导。消息块前引入 VHF 前导保证了接收端接收的数据更加稳定可靠。

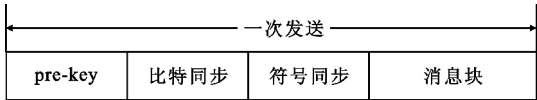


图 1 ACARS 上/下行消息帧格式
Fig. 1 The frame of ACARS uplink/downlink message

3.1.2 消息类型

参照 ARINC 750 规范 VDR-CMU Primitives Table,表 1 列出了所定义 CMU-VHF 机载设备通信的各种消息格式。

表 1 VHF-CMU 源语
Table 1 VHF-CMU primitive

序号	要求/询问消息	源语	发送者	Primitive ID
1	操作参数请求	PARAM. request	CMU	20h
2	CMU 数据传输请求	UNITDATA. request	CMU	21h
3	地址请求	ADDR. request	CMU	22h
4	CMU 错误指示	CMU_ERROR. indication	CMU	23h
5	传输缓冲器清除请求	PURGE. request	CMU	25h
6	审核模式请求	AUDIT. request	CMU	26h
7	统计模式请求	STAT. request	CMU	28h
8	参数确认	PARAM. confirm	VHF 机载设备	50h
9	VHF 机载设备数据传输指示	UNITDATA. indication	VHF 机载设备	51h
10	地址确认	ADDR. confirm	VHF 机载设备	52h
11	VHF 机载设备错误指示	VDR_ERROR. indication	VHF 机载设备	53h
12	CMU 数据传输响应	UNITDATA. confirm	VHF 机载设备	55h
13	审核模式响应	AUDIT. confirm	VHF 机载设备	56h
14	审核模式传输指示	AUDITDATA. indication	VHF 机载设备	57h
15	统计模式响应	STAT. confirm	VHF 机载设备	58h
16	统计数据传输指示	STAT. indication	VHF 机载设备	59h
17	信号质量指示	SQP. indication	VHF 机载设备	54h

CMU 控制 VHF 机载设备完成所有消息处理。CMU 发送每个请求报文后都应收到来自 VHF 机载设备发送的响应报文,比如表中 PARAM. request(操作参数请求)和 PARAM. confirm(参数确认)为一个消息对,用于地空协议操作参数的配置;UNITDATA. request (CMU 数据传输请求)和 UNITDATA. confirm(CMU 数据传输响应)为一个消息对,用于 ACARS 地空通信的下行消息;而 UNITDATA. indication(VHF 机载设备数据传输指示)为 VHF 机载设备向 CMU 发送上行 ACARS 消息,等等。CMU 必须等待 VHF 机载设备响应前一条报文后才能发送下一条报文。

3.2 工作原理及流程

民航 ACARS A 消息处理流程图如图 2 所示,主要功能包括上行消息处理功能、下行消息处理功能、CSMA 机制、信道质量检测、子网统计数据功能、审计模式功能。设备接收到 CMU 的下行链路消息后,进行 CSMA 检测,信道空闲时通过下行消息处理机制,发送该下行链路至无线信道;设备从无线信道接

收到上行消息后,经过信道质量检测算法,发送质量检测报告给 CMU,并通过上行消息处理机制,进行地址筛选以及 BCS 校验,发送上行消息给 CMU;设备收到 CMU 发送的子网统计数据控制指令或审计模式控制指令后,可具备或终止子网统计数据功能或审计模式功能。

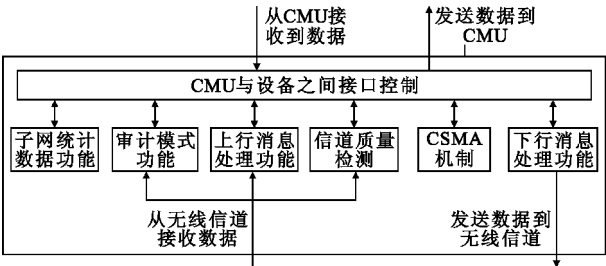


图 2 ACARS A 消息处理流程框图
Fig. 2 Flow chart of ACARS A message processing

3.2.1 下行消息处理功能

设备在进行下行消息处理之前,必须第一步先保证机载与地面的工作参数一致。通过解析 CMU

下发的工作参数对机载设备的工作频率、调制模式进行设置(设备的调制方式为频率间隔25 kHz的DSB-AM/MSK(Double-Sideband Amplitude Modulation/Minimum Shift Keying),工作频段范围为117.975~137.000 MHz)。在CMU下发的工作参数中还包含pre-key值,通过图1的消息帧格式可以看到,该值是在下行消息发送前由设备先发送出去的,意在pre-key发送过程中,设备接收机自动增益控制(Automatic Gain Conytol,AGC)建立,发送功率输出稳定,接收调制调解器本地振荡器同步。pre-key的长度应该尽量小,保证地面系统能够成功的解调出数据即可。

若设备收到来自CMU的数据传输请求报文,则表明飞机有向地面发送的ACARS下行消息块了。在设备向地面无线信道发送消息前,应通过CSMA检测机制判断信道忙闲,在一定范围内可以避免无线信道的访问冲突。若信道空闲则在消息块前添加VHF前导,发送到无线信道上。设备传输消息块后,向CMU回复UNITDATA.confirm消息,告知CMU已经发送完ACARS消息。

3.2.2 上行消息处理功能

在设备接收到正确的ADDR.request消息后,设备具备了上行消息处理功能。通过该消息,设备获得目的地址集(Destination Address Set,DAS)地址,主要为当前飞机的航班号、飞机注册号、ALL CALL地址。

设备接收到上行消息后,首先判别CMU是否对消息有审计模式请求。CMU要求审计模式状态对上行消息不需要BCS(Block Check Sequence)校验。审计模式分为两种:一是审计模式功能1,设备对上行消息通过地址筛选后,确认该消息是送给本飞机的则将该消息发送给CMU;二是审计模式功能2,设备对收到的所有上行消息直接发送给CMU。

若CMU关闭审计模式,则上行消息需经过BCS校验、信道质量(Signal Quality Parameter,SQP)检测、地址筛选。信道质量检测主要指设备通过对接收信号的幅度检测来大致推断飞机的飞行距离,作为发送重传及协议处理的依据^[4],保证通信的畅通。ARINC 618规定,只有经过合法BCS校验后的消息才能向CMU发送当前链路的服务质量SQP值,最后进行地址筛选及消息封装,将上行消息发送给CMU。

3.2.3 统计数据收集

ARINC 618中包含的统计信息包括VHF累积

信道忙碌、累积MAC(Media Access Control)延迟、接收到的本机的错误BCS数据或不完整数据、从周围飞机接收到的错误BCS数据或不完整数据、下行链路块数目或不完整的下行链路块数目等。统计数据的收集有助于了解本机及周围飞机的射频状况。

CMU通知设备进行数据统计,主要分两种模式统计:一是周期性统计,CMU提供统计的时间周期值,设备则周期性发送统计数据报文给CMU,直到CMU通知设备停止统计数据收集或更改时间周期;二是单个统计模式,CMU通知设备执行单个统计数据收集以及采集数据的时间长度,设备进行数据采集后在规定的采集时间长度后发送统计数据报文给CMU。

4 消息处理的设计及实现

ACARSIP消息处理由数据处理单元完成,采用通用的DSP+FPGA的实现架构形式,消息处理设计及实现主要在DSP中完成,此处仅针对DSP进行阐述。DSP实现的功能包括上行消息、下行消息处理中的基带处理,CSMA机制,信道质量检测,子网统计数据功能,审计模式功能;FPGA配合信号处理单元共同完成信道忙闲检测、信道质量检测以及与CMU、信号处理单元的相关接口。CMU与信号处理单元之间的消息流主要通过DSP来交互。消息处理的设计实现方案如图3所示。

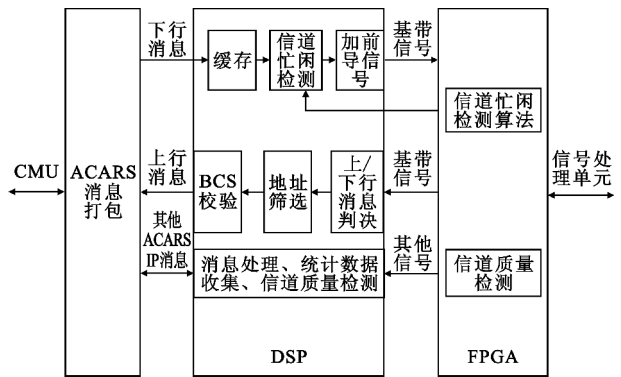


图3 消息处理设计实现框图
Fig.3 The realization framework of message processing

4.1 DSP软件处理描述

4.1.1 DSP软件处理流程图

根据第3节ACARSIP消息处理的功能阐述,在DSP软件架构设计上将消息处理划分为消息(上行/下行)处理和统计数据采集两个功能模块,如图4所示。

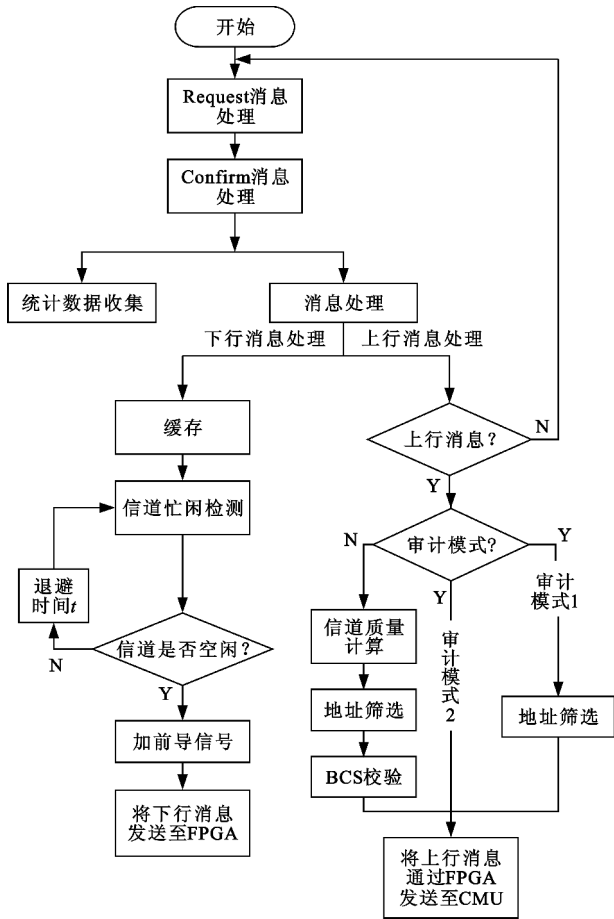


图 4 DSP 软件处理流程图
Fig. 4 Flow chart of DSP software

4.1.2 Request 和 Confirm 消息 ID 设计

来自 CMU 的 Request 消息有 7 种,DSP 主要是通过识别 Request 消息的不同 Primitive ID 来完成表 1 所列各种消息任务的,消息 ID 处理流程图如图 5 所示。

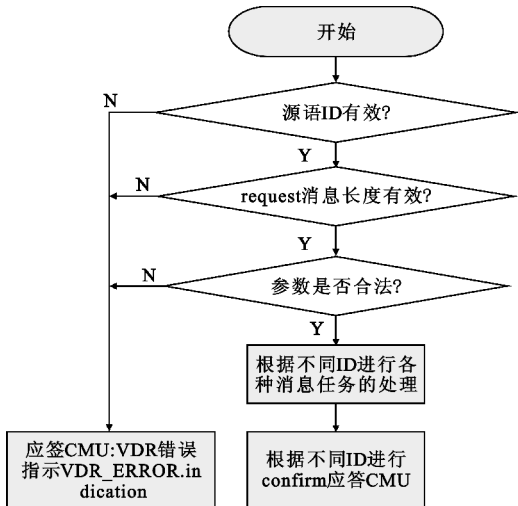


图 5 消息源语 ID 处理流程图
Fig. 5 Flow chart of message primitive ID

4.1.3 下行消息处理设计

下行消息主要处理来自 CMU 的数据传输请求报文 UNITDATA. request,要发送的下行链路消息都在这个报文中。下行消息长度一般为 100 ~ 200 B,消息是以块为单位进行发送的。一个消息块被限制在不超过220 B,因此若下行消息大于220 B时,CMU 会将消息分块向地面发送。此处 DSP 采用在定时中断里进行实时发数,由于信道忙闲检测采用的是非坚持 CSMA 算法,如果检测到信道繁忙,则退避时间 t , t 根据一定规则在30 ~ 300 ms内随机选择,故这里的定时周期选用的随机产生时间 t 的范围即为30 ~ 300 ms。图 6 是下行消息处理流程图。

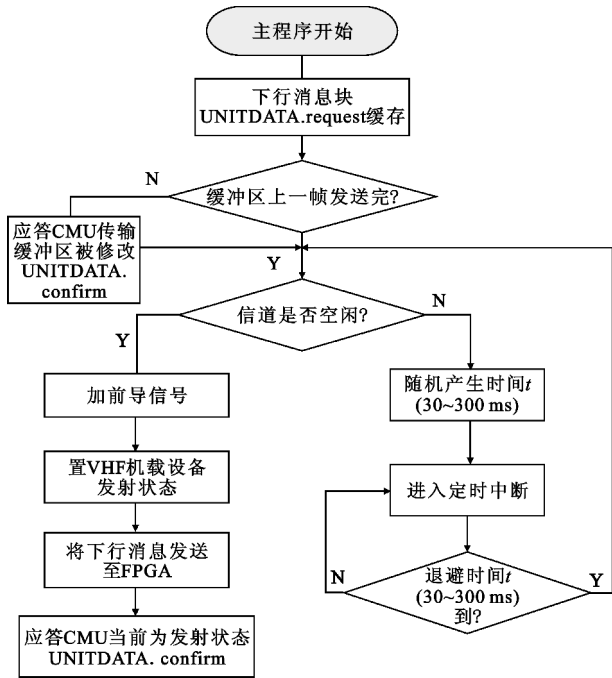


图 6 下行消息处理流程图
Fig. 6 Flow chart of downlink message

设备传输消息块后,向 CMU 回复 UNITDATA. confirm 消息。从图 6 可以看出,在下行消息传输中会出现两种情况:一是当前缓冲区消息块已发送完毕,设备应答 UNITDATA. confirm 消息,消息数据字段填 0x01h,表示该缓冲区消息已成功发送;二是可能因为信道一直处于忙状态,缓冲区数据未能及时下发,当设备再次收到下一个 UNITDATA. request 消息块后则通过应答 UNITDATA. confirm 消息(消息数据字段填 0x02h)表示该缓冲区消息已被新消息块覆盖,缓冲区内容被修改。

此时 DSP 同时进行统计工作,比如在定时中断里可以统计 VHF 累积信道忙碌百分比值、累积

MAC 延迟时间、从周围飞机接收到的不完整的下行链路块数目个数等等,应答 CMU 的统计模式请求。

4.1.4 上行消息处理设计

(1) DSP 上行消息设计流程

DSP 收到来自 FPGA 的基带信息后,首先判决该消息是否为上行消息,通过比较上行/下行链路块识别符域消息判定为上行消息后,则进行审计模式的判定。根据 3.2.2 节及图 4 的介绍,只有在非审计模式下 DSP 才对上行消息进行后续的 BCS 校验、地址筛选和信道质量检测。

DSP 完成 BCS 校验,该校验主要采用 CCITT 多项式循环冗余码校验(CRC)进行编码,长度为 16 比特,生成多项式函数为: $P(X) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ (其中 x 为生成多项式变量)。若校验正确,则 DSP 进行信道质量 SQP 的检测计算并封装 SQP. indication 通过 FPGA 发送给 CMU。SQP 主要是由 DSP 配合 FPGA 及信号处理单元完成。信号处理单元通过对信道变频后的中频信号进行检波及滤波处理,检出包络信号送 FPGA, FPGA 给出接收信号幅度 PdBm 的电压值,再经过 AD 采样送 DSP, DSP 通过计算得出接收信号的 SQP 值。

同时, DSP 比较上行消息中“地址”域中的地址与自己保存的 DAS 地址,若地址一致则表示该上行消息确实是由地面发给本飞机的消息。DSP 判决 BCS 校验正确、地址筛选正确后才以 UNITDATA. indication 封装消息上报 CMU。

(2) DSP 统计设计

DSP 继续完成统计工作,判断来自 FPGA 的基带消息,若为下行消息,则说明接收到了周围飞机发来的消息,可以统计周围飞机接收到的完整的下行链路块数目、不完整的下行链路块数目或者完整但 BCS 校验不正确的链路块数目等;若为上行消息,则可以通过地址筛查统计到该消息是发给自己飞机的消息块数目还是发给其他飞机消息块数目等。

4.2 验证和测试结果

VHF 机载设备通过了 3 个验证阶段,测试情况如下:

(1) 在工程实际应用中,系统互通, VHF 设备的发送与接收成功率达到 100% ;

(2) VHF 设备分别于 2012 年、2013 年在西南某民航机场进行民航电台 ACARS A 消息测试。分析监测数据,消息开始、结尾标志正确,BCS 校验正确,并能读取到有效的的相关信息,例如有效的航班号、应

答指令、起飞降落指令、离港机场和目的机场的代码、预达时间、温度/压力/速度等引擎消息等信息。因为在民航机场不能随意非法发送射频信息,因此下行消息的发送暂时无法验证;

(3) VHF 设备和国际民航电台 VHF-2100 进行互通,正确接收概率 100% 。

5 ACARS 消息处理的总结分析

通过上述消息处理机制及方案实现介绍可以看出, ACARS A 应用消息处理具备以下几个优点:

(1) pre-key 值的使用节约了设备研制开发周期,提高了软件移植性和兼容性。在以往的通用数据链设备中,为了保证信道同步, DSP 在调试过程中要随着设备不停调整同步时间保证信道稳定,开发周期长,且浪费人力资源。引入 ACARS 的 pre-key 值后,根据 pre-key 值的范围 0 ~ 85 ms,信道设计人员在前期就通过设计保证模拟电路的可靠性和稳定性,同时在后期设备联试过程中可由设备负责人员进行 pre-key 值的设置来调整最佳信道同步时间,不再需要 DSP 人员的全程参与。pre-key 值的人为设定也有效提高了设备 DSP 软件的可移植性,不会因为不同设备模拟电路的硬件特性差异再由 DSP 计算不同的信道同步时间产生多个软件版本,保证了设备之间的兼容性;

(2) ACARS 消息机制设计的人性化和高可靠性。通过 ACARS 消息机制对设备的链路状态会了解比较清晰,比如当设备链路繁忙时 CMU 会发出设备删除传输缓冲区的消息 PURGE. request, 及时删除则不会引起链路消息堵塞;由于 ACARS 消息是按消息块发送的,当 CMU 发送消息到设备后,设备将向 CMU 发送一个确认信号,如果确认所传输的消息正确 CMU 才会发送下一消息块,直至全部消息块都被接收完成,大大提高了通信的可靠性;

(3) 通过本文对 ACARS 消息统计功能的阐述可以了解到空中本飞机与周围飞机的相关射频情况,提供实时的确认问题能力,为飞行管理和维护提供附加的资料信息,减少成本。

6 结束语

本文介绍的民航 VHF ACARS 通信系统消息处理方案已应用于工程项目中,通信稳定可靠。在当前我国大力发展民用航空技术的背景下,该方案对

后续适航机载通信设备的研制和开发具有重要的借鉴意义。本文是针对 VDL-A 数据链工作模式进行研究的,但国际民航组织还同时制定了 VDL-2、VDL-3 和 VDL-4 3 种数据链工作模式,这 3 种模式均是在 VDL-A 功能上的扩展和增强。随着民航对实时数据的需求不断提高,在后续工作中对数据传输速率更大的数据链工作模式研究势在必行^[5]。

参考文献:

[1] 孔杰. 甚高频 ACARS 通信系统物理层信号处理单元设计[J]. 电讯技术,2013, 53(4):440-443.
KONG Jie. Design of Physical Layer Signal Processing Unit for VHF ACARS Communication System[J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53 (4): 440 - 443. (in Chinese)

[2] ARINC Characteristic 750-4, VHF data radio[S]

[3] ARINC Specification 618-6, Air/Ground Character-Oriented Protocol Specification[S].

[4] ARINC Specification 620-3, Data link ground system standard and interface-specification (DGSS/ID)[S].

[5] 徐见源,邓雪云,曹力. 基于 ARINC-618 协议的地空数据链技术研究[J]. 民用飞机设计与研究,2011(4): 13-15,23.
XU Jian-yuan, DENG Xue-yun, CAO Li. Study on the Ground Air Data Link Technology Based on ARINC-618 Protocol[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2011 (4):13-15,23. (in Chinese)

作者简介:



陈乐然(1979—),女,四川达州人,2002 年获工学学士学位,现为工程师,主要从事航空通信领域的研发工作。

CHEN Le-ran was born in Dazhou, Sichuan Province, in 1979. She received the B. S. degree in 2002. She is now an engineer. Her research concerns aviation communication.

Email:clr_jk@sohu.com