

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.04.013

甚高频 ACARS 通信系统物理层信号处理单元设计*

孔 杰**

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:通过对民航 ACARS 数据链通信系统物理层的深入研究,采用通用信号处理开发平台,设计开发了 DSB-AM/MSK 调制解调器,引入 CSMA 忙闲检测及信道质量检测机制,结合实际工程应用,实现了与国际民航电台的可靠互通,为民航 ACARS 通信系统的自主工程研制奠定了基础。

关键词:ACARS;信号处理;DSB-AM/MSK 调制解调器;CSMA 忙闲检测;信道质量检测;软件无线电
中图分类号:V243.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)04-0440-04

Design of Physical Layer Signal Processing Unit for VHF ACARS Communication System

KONG Jie

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

Abstract: According to research on the physical layer of civil aviation ACARS (ARINC Communication Addressing and Reporting) communication system, the DSB-AM/MSK (Double-Sideband Amplitude Modulation/Minimum Shift Keying) modem based on the general signal processing platform is developed. By introduction of CSMA (Carrier Sense Multiple Access) busy detection and channel quality detection mechanism, and combining actual engineering application, the stable and reliable inter-communication with international civil aviation radio is realized, which establishes a foundation for independent development of civil aviation ACARS digital communication system.

Key words: ACARS; DSB-AM/MSK modem; signal processing; CSMA busy and spare detection; channel quality detection; software defined radio

1 引言

在民用航空领域,通信、寻址和报告系统(ACARS)是航空通信网(Aeronautical Telecommunication Network, ATN)的通信子网甚高频地空数据链通信系统的重要组成部分^[1]。ACARS 系统是目前世界范围内使用最普遍的地空数据链系统,该系统使用面向字符与传统的模拟无线电相结合的方式收发数据,因其具有传输稳定可靠、误码率低等优点,改善了信息的实时性和共享特性,现已成为保障飞机安全、正点、提高效率 and 效益的必要手段,并得到了

飞速的发展。

长期以来,我国民航地空数据链技术相对滞后,大多使用美国 ARINC 公司的 ACARS 系统,核心技术和设备主要依靠国外支持^[2],成本较高。随着国产大型民航飞机的建造,要求关键技术的自主开发并保证系统的安全性^[3]。本文正是基于这样的背景,通过对 ACARS 系统物理层关键技术的深入研究和开发,将实现植入机载 ACARS 数传设备的硬件中,同其他模块和设备一起实现了自主研发的甚高频地空数据链民航 ACARS 通信系统,并应用于工程项目。

* 收稿日期:2012-11-27;修回日期:2013-04-07 Received date:2012-11-27;Revised date:2013-04-07

** 通讯作者:jackie1111@sina.com Corresponding author:jackie1111@sina.com

2 机载 ACARS 通信平台物理层组成

机载 ACARS 通信平台物理层由信道单元、功放单元、终端单元等组成,终端是最重要的组成部分,主要完成信号处理算法、中频信号的 A/D/A 变换、数据处理、管理控制以及完成与航电系统的接口等功能,其组成结构如图 1 所示。

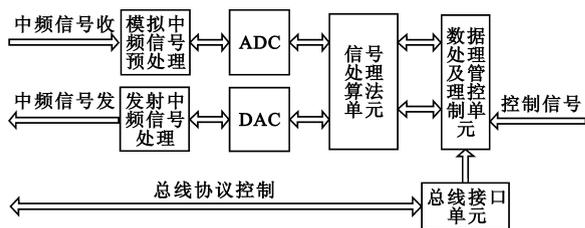


图 1 物理层终端单元组成

Fig.1 Terminal architecture of physical layer

信号处理算法单元需要完成调制解调、CSMA 的忙闲检测以及信道质量检测,是物理层的核心处理单元。ACARS 通信系统物理层调制方式为频率间隔 25 kHz 的 DSB-AM/MSK;采用 CSMA 协议,CSMA 忙闲检测通过接收通道实时判断信道的占用情况:当信道为空闲时,可以启动发射数据;当信道为忙时,经过随机时延后,再次安排发射;信道质量检测是从无线信道接收到消息后,通过信道质量检测算法,计算信号质量参数(Signal Quality Parameter, SQP)值并通过总线接口上报给系统。

3 信号算法模型及原理

3.1 DSB-AM/MSK 算法模型

ACARS 通信系统调制算法采用 DSB-AM/MSK 模式,将基带数字信号经过 MSK 调制到低中频,再将此信号作为 AM 的音频信号进行模拟的二次调制,AM 调制的调制度不小于 85%。

MSK 调制信号的数学表述为

$$s(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos[2\pi f_c t + \phi(t, I) + \varphi_0] \quad (1)$$

其中, E_s 为符号能量, T_s 为符号周期, f_c 为载波频率, φ_0 为初始相位,令其为 0。 $\phi(t, I)$ 为相位调制,定义如下:

$$\phi(t, I) = \theta_n + 2\pi h I_n q(t - nT_s), \theta_n = \pi h \sum_{k=0}^{n-1} I_k, \quad (2)$$

$h = 1/2$ 为调制指数。其中:

$$q(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ t/2T_s, & 0 \leq t \leq T_s \\ 1/2, & t > T_s \end{cases} \quad (3)$$

将 $q(t)$ 代入可以看出,在码元转换时刻,信号相位连续,以载波相位为基准的信号相位在一个码元内线性变化 $\pm \pi/2$;在一个码元期间,信号应包括 $1/4$ 载波周期的整数倍,信号的频率偏移等于 $1/4T_s$;相应调制指数 $1/2$ 。

将此 MSK 信号 $S(t)$ 再经过双边带调幅调制 (DSB-AM):

$$S_{AM/MSK}(t) = [A_0 + s(t)] \cos(\omega_c + \theta_c) \quad (4)$$

其中, $s(t)$ 为 MSK 调制信号, A_0 为外加直流分量其决定着调制度的大小, ω_c 为射频载波频率, θ_c 为射频载波初相。

根据上述模型,MSK/AM 调制算法的原理如图 2 所示。

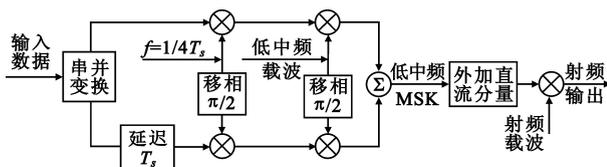


图 2 DSB-MSK/AM 调制原理

Fig.2 Block diagram of DSB-MSK/AM modulator

3.2 ACARS 物理层波形帧结构

根据航空电子设备接口标准规定,ACARS 波形发送为突发模式^[4],一次发送由 1 个 Pre-key、1 个比特同步段、1 个符号同步段和 1 个数据段组成,Pre-key 长度可由系统设置,如图 3 所示。

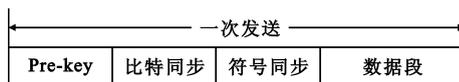


图 3 ACARS 物理层波形帧结构

Fig.3 The frame of ACARS physical layer wave

4 物理层信号处理单元的设计及实现

根据信号处理算法单元的主要功能、算法特点以及对外接口形式,平台的设计基于软件无线电设计思路,采用通用的 FPGA + DSP 的实现架构形式,ACARS 物理层的设计实现方案如图 4 所示,该设计实现主要由 3 个部分构成,包括发送和接收处理、CSMA 忙闲检测处理和信道质量检测处理。

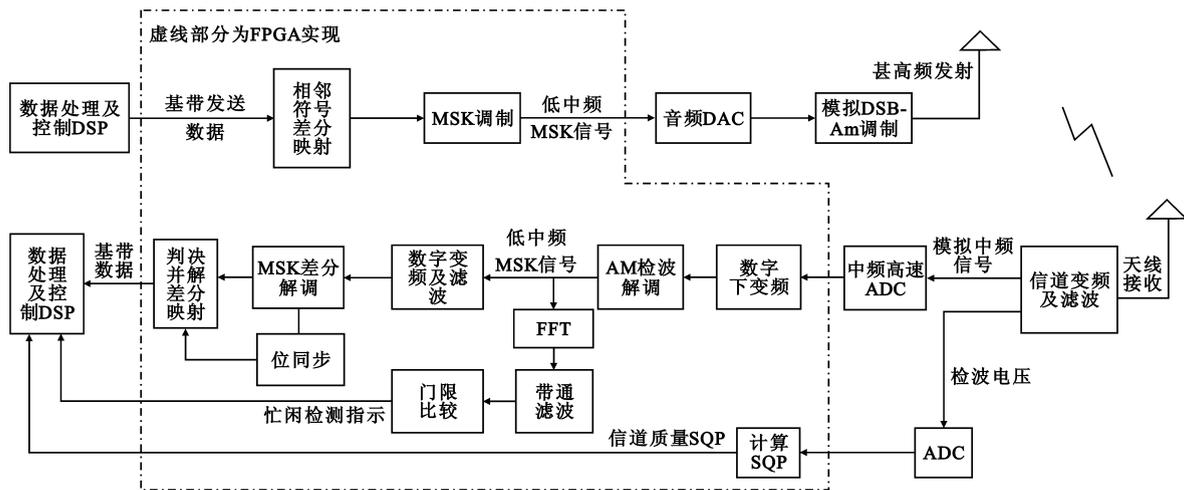


图4 物理层设计实现框图

Fig.4 The realization diagram of physical layer

4.1 发送和接收

在发端,基带数据源由数据处理 DSP 组帧后送 FPGA, FPGA 首先进行差分映射,前后两个符号进行异或处理,再经过 MSK 调制,将信息数据调制到低中频,送 D/A 转成模拟音频信号,最后进行模拟双边带 AM 调制,产生甚高频发射信号。

在收端,天线接收到射频信号后,信道接收机经过模拟变频和滤波得到模拟中频信号,再经过高速 ADC 带通采样得到数字中频信号送 FPGA,进入 FPGA 的信号首先进行数字下变频及降速处理,然后送 AM 解调模块进行包络检波数字解调,得到低中频信号。此后,信号分两路,一路送 MSK 解调模块进行解调,并进行后续的位同步、判决和解差分处理,得到基带数据信息;另一路送信道忙闲检测模块,得到忙闲指示信号给数据处理 DSP 作为 CSMA 机制运行的依据。与此同时,信道接收机会给出一路包络检波电压经过低速 ADC 采样后也送 FPGA,作为计算 SQP 的输入进行信道质量检测。

4.2 CSMA 忙闲检测

CSMA 提供一种无线信道的访问方法,在一定范围内避免无线信道的访问冲突。当需要发送数据时,通过 CSMA 检测机制,判断信道忙闲,然后根据一定规则发送数据。CSMA 机制主要包括信道感知和无线信道接入。

信道感知是在 AM 解调之后,如果收到 MSK-AM 信号,经过 AM 解调,将得到一个 MSK 调制信号,对此信号进行 FFT 运算,再经过带通滤波得到频

域信号,在中心频率处设置门限进行比较,若大于门限则认为有邻近设备在发射,此时给出忙指示;若低于门限,则给出闲指示。

无线信道接入采用非坚持 CSMA 算法,如果检测出信道空闲,则发送数据;如果检测到信道繁忙,则退避时间 t ;退避时间 t 后,重新判断信道是否为闲,如果信道空闲,则发送数据。

4.3 信道质量检测

ACARS 物理层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^[5],保证通信的畅通。

信道质量检测通过对变频后的中频信号进行检波及滤波处理,检出包络信号,由此给出表征接收信号幅度 P_{dBm} 的电压值,经过 AD 采样送信号处理,信号处理通过计算得出接收信号的 SQP 值, SQP 值分为 0~15 级,其中 0 表示最差,15 表示最好,计算和划分规则如下:

$$SQP = \begin{cases} 0, & P_{dBm} \leq -98 \\ \text{INT}((100 + P_{dBm})/5 + 0.5), & -98 < P_{dBm} < -27 \\ 15, & P_{dBm} > -27 \end{cases}$$

4.4 验证和测试结果

在现有工程设计应用中,根据实际的应用和专业的仪器设备对本设计进行了验证,并通过与国际民航电台的互通进行了数据传输指标的测试。

图 5 为 ACARS 物理层 DSB-MSK/AM 调制发射的射频信号通过仪器监测得到的时域和频域图。

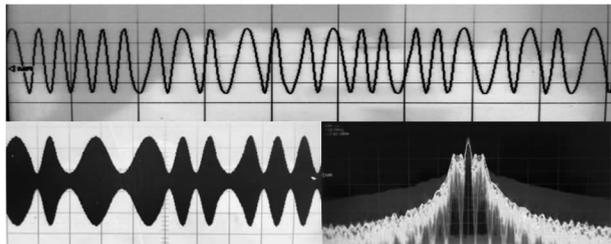


图 5 低中频 MSK 及 MSK-AM 时频域图
Fig.5 Low-IF MSK and MSK-AM timing/spectrum

图 6 是在实际接收过程中,通过 ChipScope Pro (在线逻辑分析仪)监测得到的 DSB-AM 解调后的低中频 MSK 信号、基带 L/Q 信号以及解调同步后的基带数据。

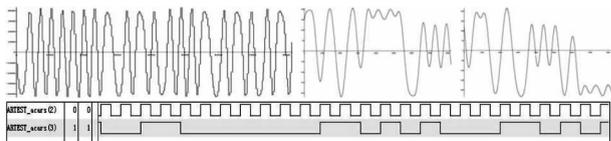


图 6 接收低中频 MSK、MSK 基带 L/Q 时域波形及解调同步后的基带数据
Fig.6 Low-IF MSK, MSK baseband L/Q wave and demodulated synchro baseband data

表 1 是本设计与国际民航电台互通的测试结果。

表 1 与国际民航电台的互通测试结果
Table 1 The test result of inter-communication with civil aviation radio

测试项目	指标要求	实测值	结论
接收灵敏度	≤ -98 dBm	-102 dBm	达标
调幅度	$\geq 80\%$ 不过调	85%	达标
互通正确接收率测试	$\geq 95\%$	100%	达标

互通测试表明,本设计接收灵敏度达到民航通信指标要求,在灵敏度范围内,正确接收概率达到 100%。

5 结束语

本文主要介绍了机载 ACARS 通信平台物理层的组成,重点对信号处理算法模型以及物理层工作原理进行了研究,在此基础上,对物理层关键技术进行了实现。该设计采用软件无线电设计思想,可靠、

灵活、易扩展,资源开销小,冗余度高。目前,该设计已经应用于工程项目中,首次自主研制了民航 ACARS 通信设备,实现了与国际民航电台互通;该技术引入了认知无线电理念,采用 CSMA 机制和信道质量检测机制,大大提高了通信的稳定可靠性,提高了信息传送的正确率;此设计可推广应用到高可靠民航机载通信设备的开发中。本文的研究是针对 VDL mode1 系统物理层进行的研究,在后续的工作中将开展 VDL mode2、VDL mode4 物理层的研究,将设备的功能进行扩展和升级。

参考文献:

- [1] 郭旭周. 甚高频空地数据链 ACARS 系统的调制解调技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2008:2-5.
GUO Xu-zhou. Research on modulation and demodulation technology of ACARS system in VHF Digital Link[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2008:2-5. (in Chinese)
- [2] 袁树德,曹力,邓雪云. 基于二码元长度的实时 ACARS 信号分析算法[J]. 信息技术,2012(7):7-10.
YUAN Shu-de, CAO Li, DENG Xue-yun. An analysis algorithm of real-time ACARS signal based on bis-code element [J]. Information Technology, 2012(7):7-10. (in Chinese)
- [3] 中国民用航空局. 中国民用航空发展第十二五规划[M]. 北京:中国民用航空局,2011.
Civil Aviation Administration of China. The Twelfth Five-Year Plan of Chinese Civil Aviation [M]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)
- [4] ARINC Specification 618-6, Air/Ground Character-Oriented Protocol Specification[S].
- [5] ARINC SPECIFICATION 620-3, Data link ground system standard and interface-specification (DGSS/ID)[S].

作者简介:



孔杰(1979—),男,新疆伊犁人,2005 年于重庆大学获工学硕士学位,现为工程师,主要研究方向为通信信号处理。

KONG Jie was born in Yili, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, in 1979. He received the M.S. degree from Chongqing University in 2005. He is now an engineer. His research concerns communication signal processing.

Email:jackie1111@sina.com