

文章编号: 1001-893X(2011)07-0025-05

基于 1090ES 的机载 ADS-B 设备总体设计*

何 进

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

摘 要:介绍了 1090ES ADS-B 系统组成和信号格式,提出了一种基于 1090ES 一次变频的超外差中频数字化 ADS-B 设备总体实现方案,包括天线、收发分机、终端分机和机内测试电路设计,计算了关键技术参数,并简述了其技术特征。该方案目前已在工程中得到应用,效果良好。

关键词:广播式自动相关监视;机载设备;中频数字化

中图分类号: TN967.5 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.07.005

An Overall Design Scheme for Airborne 1090ES ADS-B Equipment

HE Jin

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

Abstract: The composition and signal format of 1090ES ADS-B system are introduced, a scheme for single conversion superheterodyne intermediate frequency (IF) digital 1090ES ADS-B equipment is proposed, including antenna design, T/R module design, terminal module design and built in test equipment (BITE) design. The key technical parameters are calculated, and the primary technical features are described. The scheme has been successfully applied in engineering, and the result is satisfying.

Key words: ADS-B; airborne equipment; IF digitization

1 引 言

广播式自动相关监视 (ADS-B) 是国际民航组织 (ICAO) 推广的集通信、卫星导航和监视技术于一体的新一代技术,也是基于飞机监视技术的应用系统,是新一代空中交通管理系统的重要组成部分。ADS-B 信息以 ADS-B 报文形式,通过空-空、空-地和地-地数据链广播式传播。当前,世界各国主要采用的数据链有 1 090 MHz S 模式扩展电文数据链 (1090ES)、通用访问电台数据链 (UAT) 和甚高频数据链模式 4 (VDL Mode 4) 等 3 种,其中 1090ES 是国际民航组织推荐使用的全球可互用 ADS-B 地空数据链。

目前,国内有关 ADS-B 综述^[1-3]和 S 模式应

答机^[4,5]应用介绍的资料较多,但对 1090ES 体系架构、设备实现介绍甚少。民航飞机实现 ADS-B IN 功能常采用 TCAS 系统,ADS-B OUT 功能采用 S 模式应答机,而能完整实现两个功能的独立设备很少,且这些设备基本上都被国际大公司垄断。本文根据国际民航组织附件 10 (2007 版) 航空通信第 4 部分^[6]对 1090ES ADS-B 机载 A3 类设备的具体要求,提出了一种基于 1090ES 一次变频的超外差中频数字化 ADS-B 设备总体设计方案。

2 系统组成及信号格式

2.1 系统组成

1090ES ADS-B 系统^[6]主要由外部的输入数据源、1090ES ADS-B OUT 数据发射子系统^[7]、1090ES

* 收稿日期: 2011-03-11; 修回日期: 2011-06-10

ADS-B IN 数据接收子系统及输出数据客户应用 4 部分组成,如图 1 所示。数据发射子系统可将本机的位置、速度、高度、呼号等信息自动广播出去,数据接收子系统可接收并在综合监控上显示来自其它飞机、地面目标的位置、速度、高度、呼号等信息,从而对周边空域的交通状况有全面、详细的了解,实现飞机间的空空监视或对地面目标的空地监视。

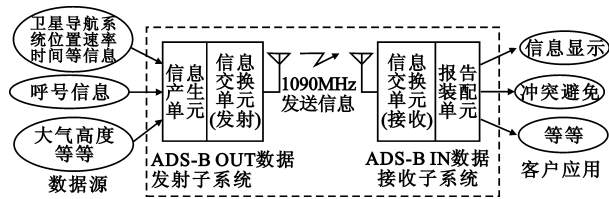


图 1 1090ES ADS-B 系统功能框图

Fig.1 Functional block diagram of 1090ES ADS-B system

2.2 信号格式

1090ES 信号格式与 S 模式应答机发射信号格式^[5-7]类同,其脉位调制信号由前同步脉冲和数据脉冲组成,如图 2 所示。前同步脉冲由起始的 8 μ s 内两组 0.5 μ s 宽的脉冲对组成。数据脉冲是脉位调制的,其脉位位置随调制信息的二进制数而变化,所有脉冲幅度和宽度不变。每位 1 μ s 间隔的前半周 0.5 μ s 内有脉冲时,逻辑电平为 1;每位的后半周 0.5 μ s 内有脉冲时,逻辑电平为 0。

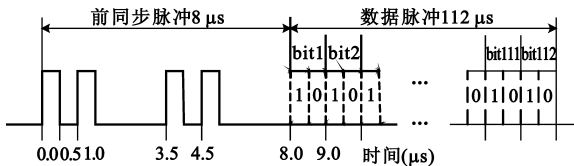


图 2 1090ES 信号格式
Fig.2 Signal format of 1090ES

1090ES 采用 DF17 格式^[6-8],共有 5 个主要的任务字段,如图 3 所示。第一字段是 5 bit 格式描述符,1090ES 为固定值 17(十进制数);第二字段是 3 bit 设备能力(CA),描述了该设备所具备的数据传输能力;第三字段是 24 bit 设备唯一地址码(AA);第四字段为 56 bit 报文信息(ME),它为设备的位置、速度、呼号等信息;第五字段为 24 bit PI 信息,提供奇偶及 CRC 检验,用于纠错;DF17 格式中该字段通常为全 0。

DF = 17	CA	AA	ME	PI
5 bit	3 bit	24 bit	56 bit	24 bit

图 3 1090ES DF17 格式任务字段及位分配
Fig.3 Task segment and bit layout of 1090ES DF17 format

3 详细设计

3.1 设备组成及工作原理

机载 1090ES ADS-B 设备完成 1090ES ADS-B IN 接收子系统和 1090ES ADS-B OUT 发射子系统的功能,由上下天线、收发分机、终端分机 3 部分组成,如图 4 所示。

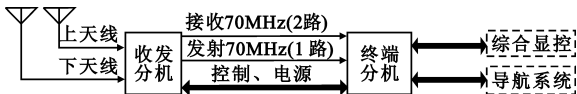


图 4 设备组成框图

Fig.4 Composition diagram of equipment

(1)接收工作原理

通过上、下两路天线分集接收其它平台 1090ES ADS-B OUT 发射子系统的信息,收发分机对接收信号进行限幅、滤波、放大、混频,送出中频 70 MHz 信号,终端分机对 70 MHz 中频信号进行解调、信号提取、分类、打包、组帧、装配后,通过对外接口送综合显控显示。

(2)发射工作原理

终端分机将来自导航、综合显控等系统的导航信息(位置、速率、高度、时间等)、自身状态信息及其它信息等进行格式转换、压缩编码等处理后,组装成适合于 1090ES 信号格式传输的 112 bit ADS-B 报文,存入内部寄存器,按照规定时间分时选择上、下天线,并随机产生发射触发信号,在触发时刻将组装好的信息进行 70 MHz 中频调制、滤波后送收发分机混频、滤波、放大后,通过全向天线辐射到空间。

3.2 天线设计

由于机载设备的特殊性,为避免接收数据的盲区,采用机腹机背两个全向天线,实现无线电波信号的全空域接收。发射时,分时选择上、下天线,也实现了发射信号的全空域辐射。该天线方向图特性为水平面全向 360°,俯仰面波束宽度优于 60°。

3.3 收发分机设计

收发分机由电源模块、天线接口模块、接收模块、发射模块、频率源模块和自检模块组成,如图 5 所示。发射时,终端模块先对天线选择开关进行控

制,选择所需天线,然后将发射开门信号和 70 MHz 中频信号送发射模块,发射模块混频放大经天线选择开关、环形器、滤波器送天线将无线电波辐射到空间。接收时,天线将空间中的电磁波信号转变为电信号,经滤波器、环形器送接收模块放大、滤波、混频送出两路中频 70 MHz 信号给终端分机。频率源模块将 1 020 MHz 本振信号功分 3 路,放大滤波隔离后送接收、发射模块混频使用。自检模块将发射时天线驻波和发射功率检测信号放大检波比较后送出 TTL 电平自检信号,以供自检使用。电源模块、接收模块和发射模块在下面详细介绍。

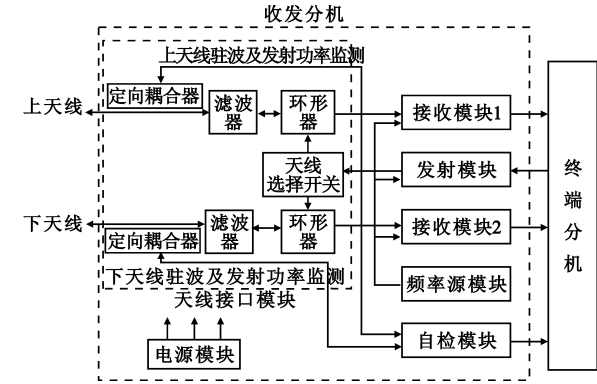


图 5 收发分机组成框图
Fig.5 Composition diagram of T/R module

电源模块将机上提供的输入直流电源首先经过电磁兼容滤波、极性反接、欠压过压和短路保护,对瞬时尖峰浪涌脉冲处理后,送 5 路 DC/DC 模块进行电源转换、滤波后,输出模拟 +35 V、+48 V、±12 V、+5 V 和数字 +5 V 共 6 组电压,并送出电源转换状态标志,以供自检使用。模拟 +35 V、+48 V 供发射模块功放电路使用,模拟 ±12 V 供发射、接收模块使用,模拟 +5 V 供收发分机和终端分机使用,数字 +5 V 仅终端分机使用。每路 DC/DC 模块都具有输入输出隔离、过流、过热保护功能。

接收采用分集接收方式,由两路完全相同的接收模块组成,同时接收上、下天线的信号。单路接收模块原理框图如图 6 所示。工作原理为接收天线接口模块的射频信号经大信号限幅、收发开关后,送低噪放放大,进入镜频抑制滤波器滤波,再送入混频器下变频,输出 70 MHz 中频信号,经低通滤波,滤除中频高次谐波及本振信号的干扰,再经中频放大、对数放大及中频滤波后送终端处理,同时该信号经定向耦合器耦合出一路信号,经放大、检波、比较送出自检信号。

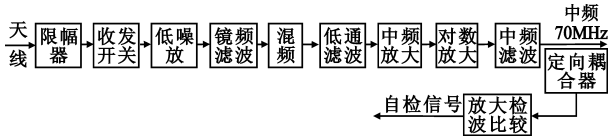


图 6 接收模块原理框图
Fig.6 Schematic diagram of receiver module

发射模块原理框图如图 7 所示,工作原理为终端送来的 70 MHz 中频信号经放大滤波后,与 1 020 MHz 本振信号混频送出 1 090 MHz 信号放大滤波,经功放保护电路后送给 40 W 脉冲小功放模块,经隔离送 200 W 脉冲功放,再隔离送 900 W 脉冲大功放,后低通滤波经隔离器输出,最大功率可达到 28.5 dBW。功放保护电路内含检波电路、单刀单掷开关、脉宽比较器、计数器电路,通过对脉宽、占空比、开路 and 短路的多重保护,避免了功放的烧毁,提高了发射模块的可靠性和生产性。



图 7 发射模块原理框图
Fig.7 Schematic diagram of transmitter module

3.4 终端分机设计

终端分机由两路高速 AD 采样、DDS 调制、FPGA、GA、DSP 及接口电路组成,实现接收 70 MHz 中频信号处理、发射编码及 70 MHz 中频信号调制、对收发分机控制、设备自检和外部设备如综合显控、导航系统的接口通信等功能,原理框图如图 8 所示。

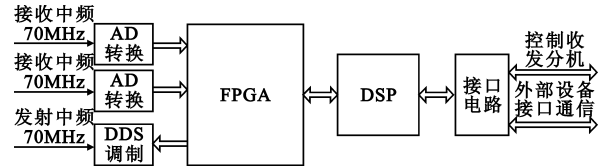


图 8 终端分机原理框图
Fig.8 Schematic diagram of terminal module

接收工作原理:同时接收两路中频 70 MHz 信号,进行 AD 采样,在 FPGA 中对两路采样数据数字滤波,去直流电平,进行数字正交解调,实现对模拟 ASK 调制信号的二进制数据转换,再通过自适应门限处理、窄脉冲剔除和脉冲鉴宽处理,去除外部环境和内部噪声引起的毛刺及干扰。根据信号格式进行脉冲时间间隔和幅度的一致性比较,判断是否为同步脉冲^[9]。若是同步脉冲,再对数据脉冲进行处理,提取 112 bit 的数据信息,并根据数据格式提取各字段的值。先来一路信号处理完毕,查询另一路是否正在处理,若是,等待另一路处理完毕,并进行相关

处理。最后, DSP 将处理出来的信息转换、组装、打包,按规定的协议通过对外接口送相关设备。

发射工作原理:将来自导航、综合显控等系统的导航数据、自身状态信息及其它信息等根据该时段发送信息的要求,提取相应信息,进行格式转换、压缩编码、重新封装等一系列处理后,组装成适合于 DF17 格式传输的 112 bit ADS-B 报文,存入内部寄存器,按照规定时间分时选择上、下天线,并随机产生发射触发信号(如位置、速率信息平均每秒发送两次,上、下天线交替发送,广播周期为 0.5 ± 0.1 s,而不是一个固定值,以降低信号混叠的概率),在发射时刻将组装好的信息送 DDS 调制成 70 MHz 中频载波信号,再滤波送收发分机。

3.5 机内测试电路设计

机内测试电路结合各个分机一并设计,充分利用该设备收发频率相同的特点,合理选取各电路的参数,实现设备内部整个收发链路动态自检。当设备发射时,收发分机产生天线驻波及发射功率自检信号送终端分机;同时,发射载波信号经环形器泄漏一部分到接收模块,经限幅器、收发开关,到低噪放前信号功率约为 -50 dBm,接收模块产生本身自检信号,并将中频 70 MHz 信号送终端处理,终端对发射同步头信号进行译码。若正确,则整个收发链路功能都正常。终端把译码结果标志、接收模块自检信号、发射驻波及功率自检信号、电源模块自检信号综合处理后,控制面板自检指示灯显示。若本次自检结果与上次不同,则通过对外接口将结果送相关设备。

4 关键技术参数计算

4.1 接收支路链路指标计算

根据接收支路主要部件噪声系数、增益分配数据,利用噪声系数级联计算公式,可计算出接收支路总的噪声系数 $NF = 5.03$ dB,接收信号带宽 $BW = 8$ MHz,信号处理正确解码要求的信噪比 $SNR = 12$ dB,则接收灵敏度 P_s 为

$$P_s = KT(BW)(NF)(SNR) = -174 + 10 \lg(8 \times 10^6) + 5.03 + 12 = -87.94 \text{ dBm} \tag{2}$$

国际民航组织附件 10 航空通信第 4 部分^[6]对 1090ES ADS-B 机载 A3 类设备天线口接收灵敏度要求为 -84 dBm。本设计中,天线增益为 0 dB,馈线损耗约 2 dB,则天线口接收机灵敏度理论值为 -85.94 dBm,约有 2 dB 余量。

4.2 发射支路链路指标计算

发射支路主要节点脉冲功率如表 1 所示。

表 1 发射支路主要节点脉冲功率
Table 1 Peak power of main node in the transmitting part

主要节点	插损 /dB	增益 /dB	输入电平 /dBW	输出电平 /dBW
功放	-	-	-	28.5
天线选择开关	-1	-	28.5	27.5
环形器	-0.5	-	27.5	27
滤波器	-1	-	27	26
馈线	-2	-	26	24
天线	-	0	24	24
天线口 辐射功率	-	-	-	24

由表 1 可知,天线口面等效全向辐射功率为 24 dBW,满足国际民航组织附件 10 航空通信第 4 部分^[6]对机载 A3 类设备天线口面辐射功率 23 ~ 27 dBW 的要求。

5 主要技术特征

5.1 大功率固态功放及保护电路设计

采用全固态功放合成方案,通过电路仿真和微波 CAD 辅助设计,选择最佳级间匹配电路和偏置电路,以保证优异的高频特性,功放合成效率高,发射功率稳定,输出波形频谱特性好。通过精心设计脉宽保护、占空比保护等保护电路,保证了发射机在各种条件下安全可靠地工作,生产调试方便,大大提高了设备的可靠性。

5.2 大动态范围高灵敏度双路接收机设计

双路分集接收避免了载机在各种飞行姿态下接收数据的丢失,实现了对全空域数据接收。同时,采用了低噪声系数、大动态范围的低噪放和一次变频超外差接收机方案,接收灵敏度高,并在末级采用了高精度的对数放大器,既压缩了接收机信号输出动态范围,保留了输入信号的幅度信息,降低了对 AD 器件动态范围的要求,又提高了设备对终端电路的保护能力。

5.3 中频数字调制解调及信号处理设计

采用了 70 MHz 中频数字调制和 70 MHz 中频信号处理技术,巧妙选择中频频率和 AD 采样频率,简化了接收和终端电路的硬件设计,提高了设备的可靠性,利于实现设备小型化和低功耗。采用数字化正交

解调一类信号处理方法和自适应门限、双路信号处理、脉冲幅度信息多次判决比对等信号处理技术,进一步提高了设备的抗干扰能力和解码能力^[10]。

5.4 机内测试电路设计

设备内部各个模块设计了相应的自检信号,充分利用设备内部收发频率相同、定时主动发射信号的特点,合理选择各项参数,在发射的同时通过泄漏信号实现内部电路动态自检,实现了设备从射频、中频到基带信号处理整条收发链路的功能检查,并将故障隔离到模块,有利于检测与维修。

6 结 语

ADS-B 技术的应用是新航行系统的一个重要组成部分,1090ES 是 ICAO 推荐使用的实现 ADS-B 功能的地空数据链。本文提出了一种实现该设备的总体方案,并在工程中得以应用。实验设备表明,采用该方案的设备具有架构先进、结构紧凑、可靠性高和维护方便等特点,主要技术指标满足 ICAO 附件 10 的要求,这对从事 ADS-B 系列产品开发和应用的人员具有重要的参考意义。该设备通过外部配置或裁减电路,也可单独作为 1090ES 接收设备或发射设备使用,满足不同类型平台的装载需要,具有广泛的适应性。

参考文献:

- [1] 时宏伟. ADS-B 数据链应用技术的综合评述(一)[J]. 空中交通管理, 2007(6): 13-16.
SHI Hong-wei. General Assessment on the Application Technology of ADS-B Data Link(Part I)[J]. Air Traffic Management, 2007(6): 13-16. (in Chinese)
- [2] 时宏伟. ADS-B 数据链应用技术的综合评述(二)[J]. 空中交通管理, 2007(7): 17-20.
SHI Hong-wei. General Assessment on the Application Technology of ADS-B Data Link(Part II)[J]. Air Traffic Management, 2007(7): 17-20. (in Chinese)
- [3] 王鲁杰. 中国民航应优先发展 ADS-B 应用技术[J]. 中国民用航空, 2006, 61(1): 27-30.
WANG Lu-jie. China should Put Priority on Development of

- ADS-B Technology [J]. China Civil Aviation, 2006, 61(1): 27-30. (in Chinese)
- [4] 程擎. S 模式应答机在飞行中的应用[J]. 国际航空, 2006(8): 83-84.
CHENG Qin. S Mode Transponders Enter into Application Stage [J]. International Aviation, 2006(8): 83-84. (in Chinese)
- [5] 黎廷璋. 空中交通管制机载应答机[M]. 北京: 国防工业出版社, 1992: 105-124.
LI Ting-zhang. Air Traffic Control Airborne Transponder [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1992: 105-124. (in Chinese)
- [6] Annex 10 - Aeronautical Telecommunications, Volume IV—Surveillance and Collision Avoidance Systems[S].
- [7] 郑超, 刘志刚, 王玉章. 基于 1090ES 的 ADS-B OUT 系统的设计与实现[J]. 航空维修与工程, 2010(1): 56-58.
ZHENG Chao, LIU Zhi-gang, WANG Yu-zhang. The Design and Implementation of ADS-B OUT System Based on 1090ES[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2010(1): 56-58. (in Chinese)
- [8] RTCA DO-260B, Minimum Operational Performance Standards for 1090MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services-Broadcast (TIS-B)[S].
- [9] 张俊强, 张益萍. ACAS 接收机 S 模式信号处理算法及其实现[J]. 航空电子技术, 2009, 40(4): 10-14.
ZHANG Jun-qiang, ZHANG Yi-ping. The Implement and Research of Mode S Signal Processing Algorithms of ACAS Receiver[J]. Avionics Technology, 2009, 40(4): 10-14. (in Chinese)
- [10] 余丽. 航管应答机的中频数字化设计[J]. 电讯技术, 2007, 47(2): 100-103.
YU Li. IF Digitization Design of an Air Traffic Control Transponder[J]. Telecommunication Engineering, 2007, 47(2): 100-103. (in Chinese)

作者简介:

何 进(1974—), 男, 四川蓬安人, 工程师, 主要研究方向为二次雷达系统设计和设备开发。

HE Jin was born in Peng'an, Sichuan Province, in 1974. He is now an engineer. His research concerns system design and equipment development of secondary radar.

Email: hj321018@21cn.com, hejin_3@swiet.com.cn