## Localization Design and Implementation for Digital Telemetry Transmitter

## Jing Zhu Hongjia Huang Fanfan Zheng Shuai Yan

Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing, 100076, China

#### Abstract

The digital telemetry transmitter can collect real-time working state information of the aircraft and complete signal modulation, amplification and RF output, is the key product of the aircraft telemetry system. With the rapid development of the domestic semiconductor industry and the increasing maturity of the technology, the performance and reliability domestic components have been significantly improved. According to the design requirements of the full localization of digital telemetry transmitter in aerospace field, this paper presents a localization design implementation scheme, it mainly includes the whole structure of telemetry transmitter, digital baseband circuit design, RF up-conversion circuit design, power amplifier circuit design, core components selection, software algorithm design and physical index test, etc.

#### Keywords

telemetry transmitter; localization; design; implementation

# 数字化遥测发射机的国产化设计与实现

祝京 黄鸿嘉 郑凡凡 严帅

北京宇航系统工程研究所,中国・北京100076

## 摘要

数字化遥测发射机能够汇集飞行器实时工作状态信息,完成信号调制、放大及射频输出,是飞行器遥测系统的关键产品。 随着国内半导体产业的快速发展和技术的日益成熟,国产元器件性能与可靠性得到显著提升。论文根据航空航天领域数字 化遥测发射机的全国产化设计要求,给出一种国产化设计与实现方案,主要包括遥测发射机的整机架构、数字基带电路设 计、射频上变频电路设计、功率放大电路设计、核心元器件选用、软件算法设计与实物指标测试等内容。

#### 关键词

遥测发射机; 国产化; 设计; 实现

## 1 引言

数字化遥测发射机,广泛应用于航空航天领域的飞行 器遥测<sup>11</sup>,其主要功能是汇集飞行器实时工作状态信息,并 调制在射频载波上,输出某一中心频率上具有一定带宽的射 频调制信号。近年来随着国产元器件工作性能与可靠性的显 著提升,在器件层面有力支撑了国产化装备的自主可控设 计。论文给出一种符合 PCM—FM 技术体制的数字化遥测 发射机的全国产化设计与实现方案。

## 2 全国产数字化遥测发射机设计思路

### 2.1 总体架构

发射机架构包括两种,即直接变频发射机<sup>12</sup>以及两步 发射机。其中两步发射机又被称为超外差发射机,该体系被

【作者简介】祝京(1984–),男,中国北京人,硕士,高 级工程师,从事测量通信与测控系统技术研究。 认为是较为可靠的拓扑结构,由于其数字调制是在比较低的 频率完成的,较直接变频体制更容易实现。随着软件无线电 的迅速发展,低频数字调制完全可以在 FPGA 内部采用数 字形式实现,进一步降低了实现的复杂度,节省了器件,并 且具有数据速率,调制度等可调节的优势,在通用性上得到 了增强。并且超外差体制采用带通滤波器,可以很好地滤除 发送信号中的噪声和毛刺,避免对其他设备以及接收机造成 影响,避免污染频谱,还可以合理进行增益分配,改善发射 机整体性能<sup>[3]</sup>。

本设计方案采用两次变频架构方案,详见图1。



图 1 全国产数字化遥测发射机整机架构图

如图1所示,发射机工作基本过程是输入到发射机的

时钟和数据先送到调制器进行调制,已调中频信号经过上变频电路、带通滤波器、功率放大器放大后,由天线发射出去。载波源采用锁相倍频技术,上变频器采用两次上变频电路可以有效地滤除杂波和限制信号带宽。图1中虚线所示的FM调制算法由FPGA嵌入式软件进行实现,其余模块均通过硬件实现。

## 2.2 硬件方案

## 2.2.1 数字基带硬件电路

数字基带电路接收 PCM 码流和时钟,完成数字中频调制,经过数模转换输出 70MHz 中频调制信号。数字基带电路硬件核心采用可编程逻辑器件 FPGA 实现 PCM-FM 调制算法,硬件平台框图如图 2 所示。数模转换器 D/A 采用低功耗 16 位高速 D/A 转换器,最高转化速率需达到 200MSPS 以上,在保证性能的前提下,PCM 码流传输速率最高可以达到 10Mbps。



图 2 数字基带硬件电路方案

#### 2.2.2 射频上变频硬件电路

射频上变频电路模块把基带调制信号上变频到射频, 射频上变频电路结构形式如图 3 所示。



#### 图 3 射频上变频硬件电路方案

基带电路输出的 70MHz 中频信号,首先经过声表带 通滤波器滤除 D/A 输出产生的镜频信号、谐波信号以及其 他杂波信号。滤波后的信号与 600MHz 本振信号混频产生 670MHz 第二中频信号。混频器后接 670MHz 声表带通滤波 器滤除混频器输出的其他杂波信号,滤波后的 670MHz 中 频信号经过放大器放大输出到射频混频器,与L频段的本 振信号混频产生 S 频段的射频调制信号,再进入带通介质 滤波器滤除杂波后输出至功率放大器。

### 2.2.3 功率放大器硬件电路

功率放大器设计为输入信号通过隔离器、温补衰减器 后进入三级放大器(预放大器、初级功率放大器、末级功率 放大器),经腔体滤波后输出放大信号。其电路结构如图4 所示。



#### 2.2.4 国产元器件选用情况

针对上述各部分功能电路的核心器件开展国产元器件 选型,在元器件选型时应尽量选择国内主流元器件厂家,且 元器件质量等级应尽可能高,核心元器件选型结果如表 1~ 表 3 所示。

表 1 数字基带电路部分核心元器件

序号	元器件名称	元器件规格	
1	FPGA	SMQ4VSX55	
2	D/A 转换器	GDA16DC250MME	

#### 表 2 射频上变频电路部分核心元器件

序号	元器件名称	元器件规格
1	频综器	GM4384A
2	RF 放大器	SX502MQ
3	混频器	JHSP1330

表3功率放大器电路部分核心元器件

序号	元器件名称	元器件规格
1	场效应晶体管	WCN2083H
2	单片放大器	NC3046S-103
3	单片放大器	WCN2083H

#### 2.3 软件方案

如前所述发射机的调制器以 FPGA 为软件处理平台, 使用数字电路实现调制器输出 70MHz 中频调制信号。利用 Verilog 硬件描述语言实现 FM 调制方式。

调频信号的表达式如式所示:

## $s(t) = \cos(\omega t + k \int_{0}^{t} D(t) dt)$

#### 其中, ω 载波频率; D(t) 为信息码流。

用数字电路实现调频调制器,可以使用直接数字频率 合成技术(DDS),利用调制信息改变 DDS 的频率控制字 实现频率调制。这种方式结构简单,相位连续,恒包络,并 且可以方便的设置频偏大小。利用 DDS 实现 FM 调制的框 图如图 5 所示。



发射机输入的 PCM 码流首先进行映射,其中比特"1" 映射为 k,比特"0"映射为 -k,k 的大小根据系统所需的频偏大小确定。映射后的数据,经过内插使每个比特有 20 个采样点,然后进行低通滤波,滤除高频分量。低通滤波器 采用 20 阶 FIR 滤波器,采用 Kaiser 窗截取理想低通滤波器 冲击响应设计,滤波器带宽取 0.7 倍的码速率。滤波后的信 号进入 DDS 完成 FM 调制,经数模转换输出 70MHz 调制后 中频信号到达变频器。

## 3 产品实物测试验证情况

整机实物针对功耗、输出信号功率、频偏、调制特性 等多个指标开展测试,各指标测试方法如下:

①功耗: 读取整机正常工作时的工作电压与工作电流, 计算出功耗。

②输出信号功率:信号源输出伪随机码,使用功率计测量整机输出功率。

③频偏:信号源输出全0或全1单载波,信号分析仪 设置为频谱分析方式,测量全0全1单载波信号频率,计算 出全0全1频率差值,再除以调制信息速率。

④调制特性: 信号源输出伪随机码, 信号分析仪调制方式设为"Digital Demod, 2FSK", 读取 FSK ERR 与 CARROFST。

整机测试结果如表4所示,功耗、输出信号功率、频偏、 调制特性等技术指标,均能够满足设计预期。

表 4
-----

序 号	整林	国立少时和		
	检测项目	计量 单位	设计指标	国广友射机 实测情况
1	功耗测试	W	≪ 42	37.81
2	信号输出功率	dBmW	≥ 38.45	40.16
3	频偏测试(调制度)		$0.7\pm0.025$	0.696
4	载波偏移(频率稳 准度)	kHz	$CARROFST \leq 22$	2.12
5	调制特性测试		FSK ERR $\leq 10\%$	9.32%

#### 4 结语

论文给出了全国产数字化遥测发射机的整机架构设计, 针对各部分功能电路的技术原理完成详细阐述,并进行相关 核心国产元器件选型。通过实物测试指标,验证了方案可行 性与设计可实现性,显著提升了相关设备的元器件自主可控 水平。

#### 参考文献

- [1] 王国辉,张金刚,耿胜男,等.运载火箭新一代测量系统发展设想与 关键技术分析[J].宇航总体技术,2020,4(1):1-7.
- [2] 赵宇鑫,王乐,齐建中.基于零中频的新型调制体制遥测发射机设 计[J].无线电工程,2018,48(9):732-736.
- [3] A Luzzatto, G Shirazi. Wireless Transceiver Design: Mastering the Design of Modern Wireless Equipment and Systems[M]. Wiley,2007.