

塔康导航系统机载中频信号数字化技术

龚成, 郭英, 齐子森
(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:现用的塔康设备以模拟体制为主,难与数据设备系统交连,因而有必要进行数字化改进,基于软件无线电思想中的中频信号数字化技术已被广泛应用到现代通信领域。由FPGA和DSP构成的硬件系统为先进数字信号处理技术的实用化、工程化提供了实现平台。首先分析了塔康导航信号特点,然后运用数字信号处理技术,结合大规模数字集成电路,在FPGA和DSP搭建的硬件平台上讨论并实现了塔康导航系统机载中频信号的数字化处理,所得结果证明,所采用的算法达到了塔康系统的性能要求,并且较之传统的模拟机载系统具有节省功耗、空间的优点。

关键词:塔康导航原理; 数字信号处理; 调制解调; DSP; FPGA

中图分类号: TN911.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)05-0029-04

塔康导航系统是最主要的飞机及航海导航装备之一^[1-6],主要由固定塔康信标和机载设备两部分组成。信标包括发射全向方位信号和测距应答信号,机载设备包括测距询问发射机、测角测距接收机和距离、方位角测量及显示单元。

1 导航信号特点分析

本文对图1中虚线框内的中频信号实现数字化,在中频输出的基础上完成信号下变频解调以及信号处理、测位、测距、信标识别、方位计算等功能。机载设备通过获得信标台所发送的识别脉冲确定信标台位置。

塔康测位分为粗测和精测,分别由主基准脉冲群和辅基准脉冲群携带信息来实现。塔康导航信号采用调幅方式,对于基准群的识别来说只依据群编码参数,而和群幅度无关。方位包络信号的电相位随塔康信标台磁方位角变化而变化,表达式为^[1]

$$x(t) = x_m [1 + m_1 \sin(\Omega_1 t - \varphi_m) + m_2 \sin 9(\Omega_1 t - \varphi_m)] = x_m [1 + m_1 \sin(\Omega_1 t - \varphi_m) + m_2 \sin(\Omega_2 t - 9\varphi_m)] \quad (1)$$

式中: x_m 为振幅; m_1 为15 Hz包络信号调制度; m_2 为135 Hz包络信号调制度; φ_m 为信标台磁方位角或15 Hz包络信号电相位角; $\Omega_1 = 2\pi F_1, F_1 = 15 \text{ Hz}, \Omega_2 = 2\pi F_2, F_2 = 9F_1 = 135 \text{ Hz}$ 。要实现塔康的测位功能关键是主、辅基准脉冲搜索以及15 Hz、135 Hz信号的过零点检测。

塔康测距采用问/答式双程脉冲测距,测距时是由机载设备发出测距询问信号,塔康地面信标做出应答, t_r 为地面信标的应答延时, c 为电波传播速度, t 为机载设备发询问信号与接收相应回答信号之间的延时,只

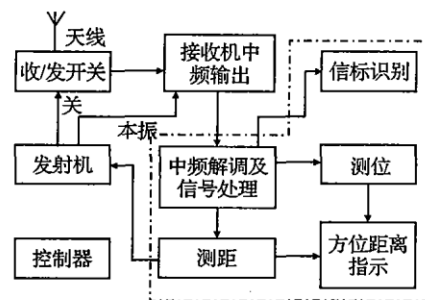


图1 原理框图

Fig. 1 Principle chart

收稿日期:2007-01-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60573101)

作者简介:龚成(1982-),男,陕西咸阳人,博士生,主要从事通信号处理和DSP应用技术研究;

郭英(1961-),女,山西临汾人,教授,博士生导师,主要从事通信号处理和DSP应用技术研究。

E-mail: qizisen@163.com

要时间 t 测得, 距离 R 就可求得, 其表达式为

$$R = \frac{1}{2}c(t - t_0) \tag{2}$$

2 塔康机载系统数字化算法分析

2.1 数字解调

如图 2 所示, 整个系统采取 FPGA + DSP 的硬件平台, 结合高性能的 A/D 和 D/A, 实现塔康导航机载中频信号数字化。

塔康导航信号采取如式 (1) 表达的幅度调制, 应用正交解调技术对导航信号解调, 在 A/D 器件对中频信号采样后, 解调处理算法实现如图 3 所示 ($x(n)$ 为 $x(t)$ 采样后的信号)。

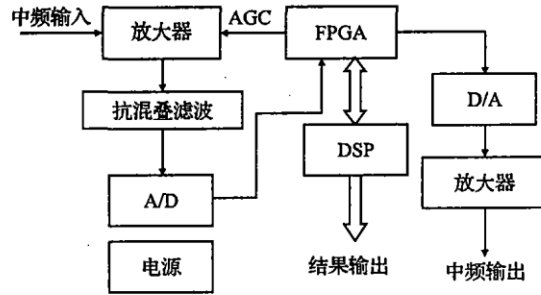


图 2 硬件平台结构

Fig. 2 Configuration of hardware platform

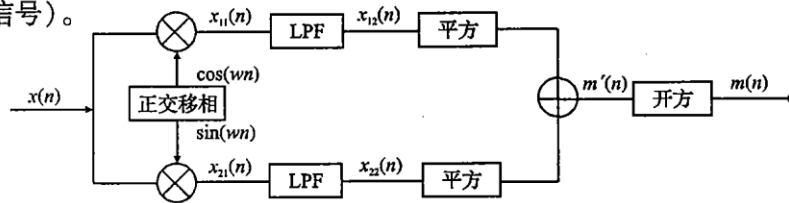


图 3 解调算法结构

Fig. 3 Configuration of demodulation algorithm

其中 $x(n) = m(n) \sin(\omega n + \theta)$ 为 AD 对飞机接收信号进行下变频、采样所获得的中频数字信号, $m(n)$ 为对 $x(t)$ 的离散化, 将 $x(n)$ 分别与本地正交载波 $\cos(\omega n)$ 和 $\sin(\omega n)$ 相乘得到:

$$x_{11}(n) = x(n) \cos(\omega n) = m(n) \sin(\omega n + \theta) \cos(\omega n) = \{m(n) [\sin(2\omega n + \theta) + \sin(\theta)]\} / 2 \tag{3}$$

$$x_{21}(n) = x(n) \sin(\omega n) = m(n) \sin(\omega n + \theta) \sin(\omega n) = \{-m(n) [\cos(2\omega n + \theta) - \cos(\theta)]\} / 2 \tag{4}$$

经低通滤波滤除二次谐波:

$$x_{12}(n) = m(n) \sin(\theta) \tag{5}$$

$$x_{22}(n) = m(n) \cos(\theta) \tag{6}$$

平方相加得 $m'(n) = m^2(n) \cos^2(\theta) + m^2(n) \sin^2(\theta) = m^2(n)$, 开方后得 $m(n)$, 从而完成解调过程。数字低通滤波器设计, 要求在所需的通带内幅频响应是一个常数, 相位频率响应为零或是频率的线性函数。但是实际滤波器要同时得到上述理想的幅频响应和相位频率响应是不可能的。工程上采用逼近技术, 通过设置滤波器的通带截止频率 ω_p 和阻带截止频率 ω_s , 以及过渡带 $\Delta\omega = \omega_p - \omega_s / \Delta\omega = \omega_s - \omega_p$ 的具体性能要求, 用一个稳定的因果系统函数逼近这一性能要求^[8]。在此, 通过设置低通滤波器的通带截止频率 ω_p 和阻带截止频率 ω_s , 以及过渡带 $\Delta\omega$, 设计完成数字低通滤波器的形式为

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n z^{-n} / (1 + \sum_{n=0}^{N-1} b_n z^{-n}) \tag{7}$$

2.2 定位算法

在数字解调后的基带信号基础上, 算法结构如图 4 所示, 定位过程中主、辅脉冲搜索、以及测距脉冲检测、识别脉冲检测是通过检测脉冲之间的时间间隔来实现的。带通滤波器 1 分离 135 Hz 信号, 带通滤波器 2 分离 15 Hz 信号, 并分别对其过零点检测, 结合主、辅基准脉冲进行测位。获得测位、测距信息后通过定位信标台, 实现定位, 信息测算。图 4 中带通滤波器 1 是以 $\omega_1 = 135$ Hz 为中心频率, 带宽为 100 Hz 的带通滤波器, 可实现对 135 Hz 信号的滤波; 带通滤波器 2 是以 $\omega_2 = 15$ Hz 为中心频率的去直流滤波器, 实现对 15 Hz 信号的滤波。

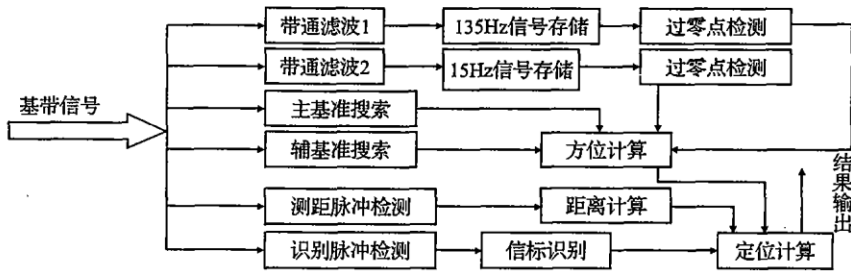


图 4 定位算法结构

Fig. 4 Configuration of orientation algorithm

3 算法实现

3.1 FPGA 解调算法实现

正交解调运算中含有大量乘法运算,本系统选择 xilinx 公司的 FPGA,实现正交解调算法见图 5。

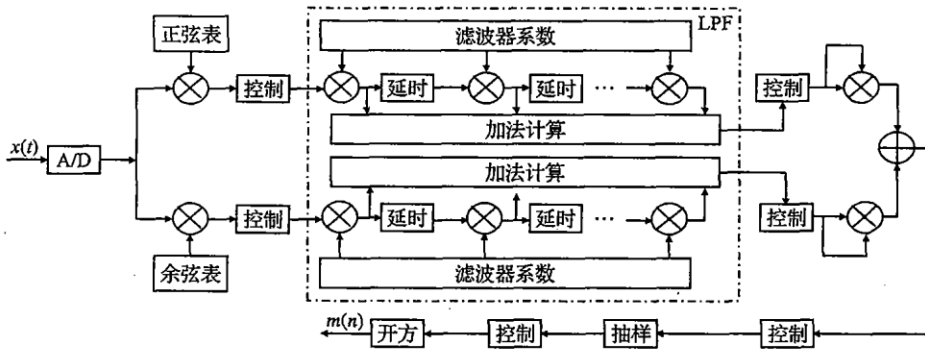


图 5 FPGA 解调算法实现

Fig. 5 Implement configuration of demodulation algorithm in FPGA

图中 A/D 对射频处理端输出的 70 MHz 信号实施带通采样,采用高精度,大动态范围的 AD 芯片可满足要求。正交解调算法主要为乘、加、与开方运算,FPGA 芯片内置的乘法器和加法器可使算法快速实现,片内 RAM 为算法实现提供了充足的存储空间。正弦表和余弦表是在 FPGA 内部开辟的一块存储空间,可以用块 RAM 或者定义寄存器来实现。若片内存储空间紧张可选择存储正弦或余弦的 1/4 周期数值,通过对其不同次序的读取来产生正弦波形和余弦波形。图 5 中控制单元来完成对运算信号的时序控制,保证整个解调过程顺利完成。在实现低通滤波时,滤波器的系数是跟据所需低通滤波器的性能要求计算获得,在 FPGA 片内开辟一块存储空间来存储系数,从而可方便地实现乘法运算,其中延时单元由计数器实现,将乘运算的结果记录并进行加法计算,实现低通滤波器。整个运算流程采用流水线工作方式,只要保证流水线的每步能够具备实时性就保证了整个运算过程的实时性。

3.2 DSP 定位算法实现

DSP 在 FPGA 解调基带信号的基础上完成测距、定位算法(见图 6)。

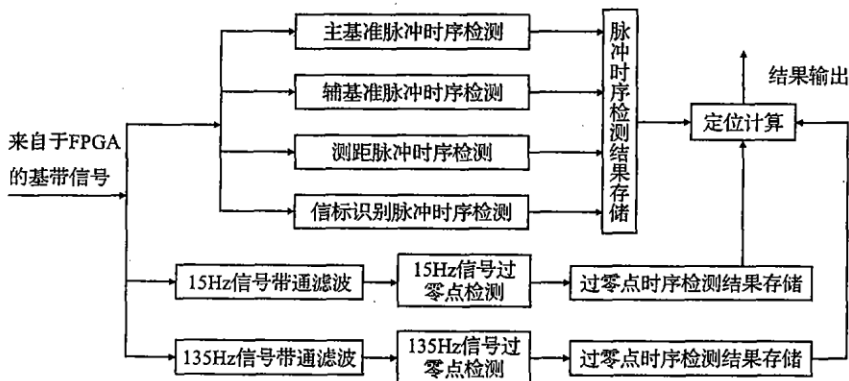


图 6 DSP 定位算法实现

Fig. 6 Implement configuration of orientation algorithm in DSP

塔康信号采用脉冲编码体制^[7-10],脉冲序列具有先后发射顺序:主基准脉冲、辅基准脉冲、识别脉冲、距离回答脉冲、随机填充脉冲。其基准信号测距信号用脉冲编码来识别,信标台识别信号采用键控方式的编码格式。可根据塔康导航信号中各脉冲时序特点,通过检测脉冲信号的时序关系和对过零点的搜索完成定位功能。对FPGA解调之后的基带信号进行六路并行处理:检测主基准时序、检测辅基准时序、检测测距脉冲、检测信标识别脉冲、15 Hz信号带通滤波、135 Hz信号带通滤波。数字带通滤波器实现与低通滤波器基本原理相同,设计所需的滤波器系数,在DSP片内开辟未用存储空间。检测过零点时,当检测到相临两脉冲为正负关系时,可用运算量不是很大的线性关系来更准确的估计零点位置。结合过零点与各存储脉冲插值的相对关系来搜索定位时间点。本系统选用TI公司的定点DSP芯片以及片外存储器作为定位运算的硬件平台,其支持高速时钟频率。

4 结论

本文通过对塔康导航系统信号的分析,结合数字信号处理技术的优点和大规模数字集成电路、高性能A/D、D/A的应用,实现了对塔康导航系统机载中频信号的数字化,仿真结果证明,所做的工作已完全达到了塔康系统的性能要求。

参考文献:

- [1] Edward J Chrestopher. Electronically Scanned TACAN Antenna [J]. IEEE Trans Antennas Propagation, 1974, 22(1): 12 - 16.
- [2] Shestak L N. A Cylindrical Array for the TACAN System [J]. IEEE Trans Antennas Propagation, 1974, 22(1): 17 - 25.
- [3] Shestak L N, Thomas D L. A Design Study of An Antenna for An Air - transportable TACAN Ground Station [R]. ESD - TDR - 64 - 526, 1964.
- [4] Shestak L N, Edwards W T. TACAN Antenna Techniques, Final Report [R]. RADC - TR - 67 - 202, 1967.
- [5] Armig G Kandoian. Three New Antenna Typies and Their Applications [J]. Waves and Electrons, 1946, 2: 70 - 75.
- [6] Joseph Mitola III. SDR and Architecture Refinement for JTRS [J]. IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications, 1999, 17(11): 3 - 10.
- [7] Zvonar Z, Mitola J. SDR and Wireless Infrastructure [J]. Communications Magazine, 2003, 41(1): 104 - 105.
- [8] Peter G. Cook, Wayne Bonser. Architectural Overview of the Speak Easy System [J]. IEEE Journal on Selected Areas in communications, 1999, 17(4): 650 - 661.
- [9] Joseph Mitola III. Cognitive Radio - An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio [D]. Stockholm: KTH, 2000.
- [10] Harris Corporation. AN/PRC - 117F Multiband and Multimission Radio [M]. United States of America: Harris Corporation, 1999.

(编辑:徐楠楠)

Digital Implement Technology of TACAN IF Signal

GONG Cheng, GUO Ying, QI Zi - sen

(Telecommunication institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Mainly consisted of simulating system, the present TACAN equipment is difficult to associate with the date equipment system and is necessary to make digital improvement. The digital technology of IF signal, which is on the basis of Software Radio, has been used broadly in the current communication field. The hardware system made up of FPGA and DSP is the implement platform of advanced digital signal processing technology used in the practical projects. First, the characteristics of TACAN signal are analyzed; Second, the IF signals are processed by using digital technology on the basis of a hardware system which is composed by FPGA and DSP. The result proves that this algorithm meets the performance demand of TACAN system. Compared with the conventional system, TACAN provides many benefits in the economization of power and space.

Keywords: TACAN; digital signal processing; modulation and demodulation; DSP; FPGA