

中频信号正交解调原理与实现

叶金来, 黄洁, 江桦
(解放军信息工程大学, 河南 郑州 450002)

摘要: 通过对正交解调原理的分析和对 AD9580、RF2713 芯片介绍, 提出了一种中频信号解调的实现方案作为通用中频信号接收处理平台, 完成了对载频为 48MHz、带宽为 4MHz 扩频信号的接收处理。
关键词: 中频; 正交解调; 直接数字合成(DDS); 数控振荡器(NCO); 载波同步
中图分类号: TN763 **文献标识码:** A

The principle and implementation of IF signal quadrature demodulating

YE Jin-lai, HUANG Jie, JIANG Hua
(Information Engineering University of PLA, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This paper discusses the principle of IF (Intermediate Frequency) signal quadrature demodulating, and introduces the functional principle of chips AD9850 and RF2713. The paper also discusses the implementation of carrier synchronization, and presents a scheme of IF signal quadrature demodulating using AD9850, RF2713 and FPGA as a platform of receiving and treatment for general IF signals, by which IF signals of different carrier and different modulation can be processed.
Keywords: IF; quadrature demodulating; DDS; NCO; carrier synchronization

当代无线通信各种技术发展很快, 各种通信系统的调制方式也很多, 有 AM、FM、LSB、ISB、FSK、PSK、MSK、GMSK、QAM 等, 其多址方式有时分多址(TDMA)、频分多址(FDMA)和码分多址(CDMA)等。各通信系统的调制方式、多址方式、通信协议等的不同导致各通信系统接收机之间差别很大, 一个接收机只能满足某些特定的需求, 而无法满足各种需要, 因此增加接收机的通用性非常有意义。这其中对中频信号的接收处理是实现通用性的关键。为了实现通用性, 本文使用正交解调的方法对中频信号进行处理。

1 正交解调原理^[1]

无论中频信号的调制方式如何, 都可以先使用正交解调, 然后再依据调制方式处理恢复信号。正交解调也叫正交基带变换, 其目的是去掉调制

信号中的载频, 将信号变到零中频(基带)。一个载频为 ω_c 的实调制信号可以表示为:

$$x(t) = a(t)\cos[\omega_c t + \theta(t)]$$

则其复信号解析式为:

$$z(t) = a(t)\cos[\omega_c t + \theta(t)] + ja(t)\sin[\omega_c t + \theta(t)]$$

其中 $a(t)$ 表示信号的瞬时包络, $\varphi(t) = \omega_c t + \theta(t)$ 表示信号的瞬时相位, 而

$$\omega(t) = d\varphi(t)/dt = \omega_c + \theta'(t)$$

表示信号的瞬时角频率。各种调制方式的信号调制信息都包含在这 3 个特征量中。经正交解调后得到的零中频信号(基带信号)为:

$$\begin{aligned} Z_B(t) &= a(t)\cos\theta(t) + ja(t)\sin\theta(t) \\ &= Z_{BI}(t) + jZ_{BQ}(t) \end{aligned}$$

式中

$$\begin{aligned} Z_{BI}(t) &= a(t)\cos\theta(t) \\ Z_{BQ}(t) &= a(t)\sin\theta(t) \end{aligned}$$

$Z_{BI}(t)$ 和 $Z_{BQ}(t)$ 分别为基带信号中的同相分量和正交分量, 或称 I 路分量和 Q 路分量。

2 正交解调系统实现

实现正交解调的方法如图 1 所示。中频信号经正交解调后, 其信号调制信息都包含在 I、Q 两路分量信号中。依据信号调制方式对 I、Q 两路分量信号作相应的运算处理就可以完成具体调制信号的恢复。

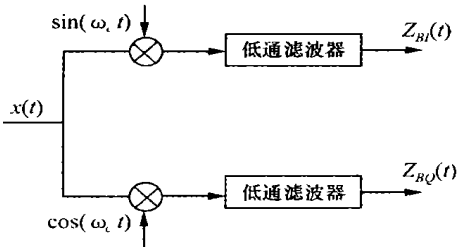


图 1 正交解调实现方法

Fig. 1 Implementation of quadrature demodulating

实现正交解调关键在于本振的产生, 实际中对本振有两方面的要求: 首先要求本振和信号载波同频同相, 否则正交解调后的信号会产生频差和相差, 不利于信号恢复; 其次要求两个本振信号 $\cos \omega_0 t$ 和 $\sin \omega_0 t$ 完全正交, 否则由 I、Q 两路信号恢复原信号时会产生虚假信号。

为了解决频差问题, 本振由 VCO (压控振荡器) 或 NCO 产生, 基带处理中通过对 I、Q 两路分量信号进行载波跟踪, 载波跟踪的结果产生控制电压或控制信息反馈控制 VCO 或 NCO 使其频率和中频信号载频完全一致。实际中正交的本地时钟由 VCO 或 NCO 产生的时钟信号经过 90° 移相得到。

为了在一定范围内处理不同载波频率、不同调制方式的中频信号, 从而实现通用中频正交解调这一目标, 在系统设计时采用通用正交解调芯片 RF2713, 本振选 AD9850 作 NCO, 载波同步和具体信号恢复用 ALTERA 公司的 Cyclone 系列 FPGA 中的 EPIC6 完成。

2.1 正交解调芯片 RF2713

RF2713 是 RF MICRO-DEVICES 公司的一款完整的正交调制/解调芯片。当其作解调器用时可以将中频信号通过正交解调(正交基带变换)恢复成 I、Q 两路零中频信号。其处理的中频频率范围可以从 100kHz 到 250MHz。

该芯片内部包含完成正交调制/解调功能的所有部件, 其中包括数字正交分频器和两个双平衡混频器, 还内置有基带放大器以便于输出的信号进行 A/D 转换。

RF2713 工作时要求输入本振的频率为载频的两倍, 解调时其内部的数字正交二分频器会将本振时钟 2 分频成正交的两路时钟, 各自送入混频器分别和中频信号混频, 从而混频产生出 I、Q 两路基带信号。内置的基带放大器会将 I、Q 两路基带信号放大以利于信号的采样。RF2713 作解调器用时其工作原理如图 2 所示。

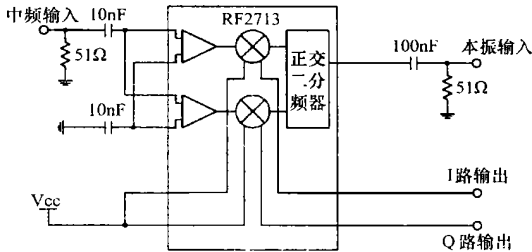


图 2 RF2713 正交解调原理

Fig. 2 Schematic diagram of RF2713 quadrature demodulating

2.2 DDS 合成器 AD9850

频率合成器能从一个或几个参考频率产生多个频率。随着数字技术在仪器测量和通信系统中的广泛应用, 近几年提出了一种从一个频率参考源产生多个频率的全数字化方式, 称之为直接数字频率合成技术(direct digital synthesis 简称 DDS)。

AD9850 是 AD 公司 (ANALOG DIVICES) 生产的 125MHz 完全的 DDS 系统, 采用 DDS 技术完成完全数字可编程频率合成和时钟产生功能。它依据输入的控制字产生时钟, 并能高精度高分辨率地调整时钟的频率和相位, 因此可以作为高性能的 NCO。它内置有相位累加器、正弦查找表、DAC (模数转换器) 和比较器。其内部功能结构如图 3 所示。

AD9850 工作过程如下: 外部通过并行或串行方式将控制字输入数据和控制输入寄存器, 由相位控制和相位累加器算出相应相位, 在正弦查找表中查出相位对应的幅度值, 然后由 DAC 产生符合系统要求的频率相位的正弦波形。相位累加器数据是 32 位, 相位值在送到查找表之前被截短至 14 位(最高位)。正弦查找表中存储的正弦幅值

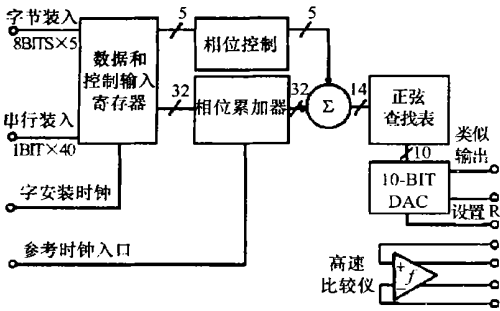


图 3 AD9850 的内部结构

Fig. 3 The inner structure of Chip AD9850

环路中 VCO (NCO) 分别和两个相互正交的环路构成锁相环。VCO (NCO) 分别向两个环路提供

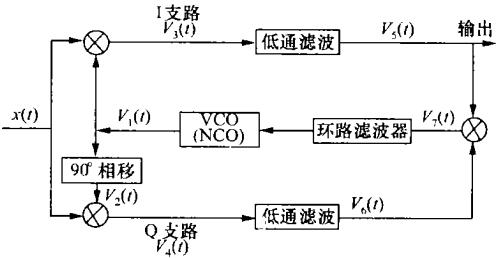


图 4 COSTAS 环原理

Fig. 4 Schematic diagram of Loop COSTAS

是 10 位。查到的相位对应幅度值数据输出给内部的 DAC 产生模拟的时钟信号输出。

AD9850 的输出时钟频率由参考频率和输入控制字决定。其输出时钟信号是被采样过的信号, 产生的所需频率信号被芯片的输入参考时钟采样。若参考时钟频率为 f_c , 要产生的时钟频率为 f_0 , 则 AD9850 的实际输出中所含频率分量包括: $kf_c \pm f_0$, 其中 k 为大于等于 0 的整数, 其各频率分量幅度按 $(\sin x)/x$ 规律衰减, 因此 AD9850 的输出时钟信号还需要经滤波滤出所需频率后才能使用。AD9850 可以通过一个辅助寄存器和一个位于相位累加寄存器的输出和查找表的输入之间的加法器来完成对输出相位进行调制。它使用一个 5 位控制字来控制相位, 允许相位的变化量为 $180^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 22.5^\circ, 11.25^\circ$ 以及它们的各种组合。

2.3 载波同步^[2]

正交解调时, 接收端需要提供一个与发射端调制载波同频同相的相干载波, 这个相干载波的获取就称为载波提取或载波同步。提取载波的方法一般分为 2 类: 一类是在发送有用信号的同时, 辅助传送一个或多个比较弱的载波信号, 称为插入导频法, 接收端可以用锁相环路的窄带跟踪性能来提取这个导频; 另一种是直接从接收的已调信号中提取载波。在数字通信中, 常用相移键控信号, 它不含有载频的分量, 用普通的锁相环路无法提取, 需设计特殊的锁相环路, 即所谓的抑制载波跟踪环, 才能完成载波同步的功能。抑制载波跟踪环包括平方环、COSTAS 环 (也称同相正交环) 和反调制环 (或称判决反馈环)。为了适应多种调制方式, 本文采用 COSTAS 环实现载波同步, COSTAS 环原理框图如图 4 所示。

相互正交的载波, 这两载波分别与输入信号在各自的环路中进行鉴相 (混频), 经低通滤波后分别产生 I、Q 两路基带信号, 两路基带信号相乘后就消除了误差信号中的数字信息。误差信号控制 VCO (NCO) 输出频率和相位使其和输入载波的频率相位一致。

设输入信号 $X(t)$ 表达式如下:

$$X(t) = m(t)\cos(\omega_c t)$$

VCO (NCO) 锁定后的输出 $V_1(t)$ 及移相后 $V_2(t)$ 表达式为

$$V_1(t) = \cos(\omega_c t + \theta)$$

$$V_2(t) = \sin(\omega_c t + \theta)$$

式中 θ 为锁相环的剩余相位误差, 通常很小。相乘后得到 I、Q 两路信号 $V_3(t)$ 和 $V_4(t)$

$$V_3(t) = \frac{1}{2}m(t)[\cos\theta + \cos(2\omega_c t + \theta)]$$

$$V_4(t) = \frac{1}{2}m(t)[\sin\theta + \sin(2\omega_c t + \theta)]$$

经低通滤波器滤波后得到

$$V_5(t) = \frac{1}{2}m(t)\cos\theta$$

$$V_6(t) = \frac{1}{2}m(t)\sin\theta$$

二者相乘后得到

$$V_7(t) = V_5(t)V_6(t) = \frac{1}{8}m^2(t)\sin 2\theta$$

因 θ 非常小, 近似有 $\sin 2\theta \approx 2\theta$, 所以有

$$V_7(t) = \frac{1}{4}m^2(t)\theta$$

$V_7(t)$ 经环路滤波后控制 VCO (NCO), 使 VCO (NCO) 输出信号频率与输入信号载波同频, 相位只差一个很小的 $\theta, \theta \approx 0$, 此时

$$V_1(t) = \cos(\omega_c t + \theta) \approx \cos\omega_c t$$

就是需要提取的载波,而 $V_5(t)$ 和 $V_6(t)$ 就是 I、Q 两路基带信号。

比较图 1 和图 4 可知,在正交解调后加上 I、Q 两路信号相乘然后将相乘结果经环路滤波器后产生控制信息控制 VCO (NCO) 就构成了 COSTAS 环。I、Q 两路信号相乘以及环路滤波可以在 FPGA 中完成。

2.4 系统实现

具体实现方案如图 5 所示。输入的中频信号

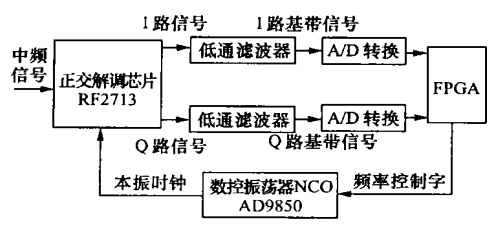


图 5 正交解调实现方案框图

Fig. 5 Block diagram of the implementation of quadrature demodulating

参考文献:

[1] 杨小牛,楼才义,徐建良. 软件无线电原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001. 48 ~ 53.
[2] 张厥盛,郑继禹,万心平. 锁相技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1996. 156 ~ 157.

(上接第 151 页)传统的 DTW 算法是以整个单词为基本识别单位,没有考虑语音的单词分段问题,因此传统的 DTW 算法对解决连续词的语音识别存在缺陷。可以对传统的 DTW 算法加以改进,用于连续词的语音识别。连续词的 DTW 算法的语音识别,是基于分段实现的。分段可以采用非线性分段算法,该算法的基本思想是先计算出各相邻帧的距离测度,然后按照所需分段数计算平均段累加距离。在分段时,若个别帧的距离过大,可根据当前分段状态,重新调整段平均距离,更有效地分配各段长度。模板样本在系统训练时按照相同地规则分段后完成特征提取。通过算法分析可

参考文献:

[1] 万春. 基于 DTW 的语音识别应用系统研究与实现[J]. 集美大学学报, 2002, (2): 104 ~ 108.
[2] 赵力. 语音信号处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
[3] 陈淑珍,张晨光,刘怀林,等. 基于改进的语音参数提取的线性预测[J]. 武汉大学学报, 2003, (1): 91 ~ 94.
[4] 楼顺天. 基于 MATLAB 的系统分析与设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.

由 RF2713 正交解调经滤波器后得到 I、Q 两路基带信号,两路信号经采样后送入 FPGA。本振由 AD9850 产生。FPGA 由 I、Q 两路信号计算频差,将计算结果作为 AD9850 的控制信息控制本振的频率,从而实现载波同步。FPGA 还依据信号调制方式完成信号恢复及其它处理。

3 结语

本文通过对正交解调原理的分析和对 AD9850、RF2713 芯片介绍,提出了一种中频信号解调的实现方案。在该方案中,本振用 NCO 产生,正交解调用专用芯片完成,载波同步及信号恢复由 FPGA 完成。NCO 的精度高、频率调节范围大,能适应各种载频的中频信号,方案可以通过改变 FPGA 的编程来实现对不同调制方式信号的恢复。因此该方案可以作为通用中频信号接收处理平台,在实际工作中,已成功地完成了对载频为 48MHz、带宽为 4MHz 扩频信号的接收处理。

4 结论

DTW 算法较 HMM 算法运算量小,在基于孤立词小词汇量的语音识别系统值得推广和应用。采用松弛 DTW 算法与固定 DTW 算法相比较,前者的匹配效果比后者的匹配效果好,实现的语音识别系统的识别性能也有所改善,但算法的运算量将增大。另外,也可以将本文介绍的语音识别相关算法移植到高速单片机或 DSP 系统中,解决一些生产和生活中的实际应用问题。