

AD9857 和 AD6620、AD6644 在软件无线电中的应用

陈 凡¹, 王忠杰²

(1. 江苏南京邮电学院 继续教育学院, 江苏 南京 210003; 2. 南京南瑞公司, 江苏 南京 210003)

摘要:在无线电应用领域, 软件无线电已成为一个重要的研究课题, 文章在对软件无线电的概念、体系结构作介绍的基础上, 给出了一种利用 AD9857、AD6620 和 AD6644 作正交调制和解调、上变频和下变频、A/D 和 D/A 转换构成软件无线电通用硬件平台的设计方案。

关键词:软件无线电; 正交调制; 上变频; 下变频; AD 转换

中图分类号: TN911.72

文献标识码: B

文章编号: 1005-7641(2004)03-0030-04

1 软件无线电的基本概念和特征

软件无线电 (Software Radio) 是 20 世纪 90 年代提出的一种实现无线电通信的新体系结构。软件无线电基于一个通用可编程控制的硬件平台, 在尽可能靠近射频天线的地方通过宽带 A/D 和 D/A 转换器完成信号的数字化, 然后用软件来实现无线电通信的各种功能。由此可见, 软件无线电代表的是一个软件可重构的无线电体系, 它的可重构性主要体现在其射频、中频及基带信号处理可通过软件编程来控制 and 实现上。

由于软件无线电的各种功能是由软件来实现的, 因此, 无线通信系统就具有很好的通用性、灵活性, 使系统互联和升级非常方便, 只要加载不同的通信软件就可以实现不同通信方式的转换。因此, 软件无线电具有充分数字化、完全可编程、模块化设计、多频段转换、多业务支持等特征。也正因为如此, 软件无线电将广泛地应用于无线通信以及无线电其他领域, 使无线电技术由以硬件为主逐渐转变为以软件为主。

2 软件无线电的体系结构

在软件无线电设备中, 所有的信号处理 (包括放大、变频、滤波、调制、信道编译码、信源编译码、信道和接口的协议/信令处理、加/解密、抗干扰处理、网络监控管理等) 都以数字信号的形式进行。功能的软件化实现势必要求减少功能单一、灵活性差的硬件电路, 尤其是减少模拟环节, 把数字化处理尽量靠近天线。软件无线电强调体系结构的开放性和全面可编程性, 通过软件的更新改变硬件的配置结构, 实现新的功能。

理想的软件无线电体系结构如图 1 所示。

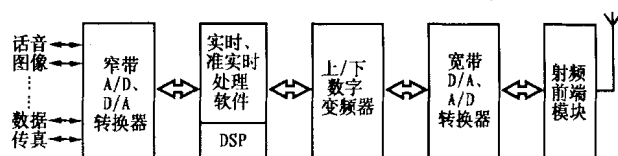


图 1 软件无线电的体系结构

软件无线电主要由天线、射频前端、宽带 A/D 和 D/A 转换器、数字上变频和下变频器、数字信号处理器 (DSP) 以及各种软件组成。软件无线电的天线一般要覆盖到比较宽的频段, 要求每个频段的特性均匀, 以满足各种业务的需求。

在发射信号时, 射频前端主要完成滤波、功率放大等任务; 接收时实现滤波、放大等功能。在射频变换部分, 需要宽带、线性、高效的射频放大器。

数字化是软件无线电的基础, 模拟信号必须经过采样转化成数字信号才能用软件进行处理, 反之亦然。模拟信号与数字信号间的互相转换由宽带 A/D、D/A 转换器实现。A/D、D/A 转换器在软件无线电中所处的位置非常关键, 它直接反映了软件无线电的软件化程度。A/D、D/A 转换器要有足够的工作带宽、较高的采样速率, 而且要有较高的转换位数以提高动态范围。

为了减轻通用 DSP 单元的处理压力, 通常把 A/D 转换器传来的数字信号经过数字下变频器单元处理, 以降低数据流速率, 并把信号变为基带信号数据后, 再把数据送给通用 DSP 单元进行处理。同样, 由 DSP 单元处理过的基带信号通过数字上变频器单元变换为射频信号或中频信号。通用 DSP 主要完成各种数据率相对较低的基带信号的处理, 例如: 信号的调制解调, 各种抗干扰、抗衰落、自适应均衡算法的实现等, 还要完成经信源编码后的前向纠错、帧调整、比特填充和链路加密等算法。

收稿日期: 2003-08-05; 修回日期: 2003-08-30

作者简介: 陈凡 (1959-) 男, 浙江定海人, 讲师, 长期从事无线通信专业的教学与科研工作;

王忠杰 (1960-) 男, 江苏启东人, 工程师, 多年从事无线电技术的研发工作。

3 软件无线电发射电路的组成

软件无线电的发射部分可以发射任何信号,其主要功能是把要发射或传输的用户信息(语音、数据、图像等)经基带处理(完成诸如 FM、AM、FSK、PSK、MSK、QAM 等多种调制)和上变频,调制到规定的载频上,再通过功率放大后送至天线发射出去,软件无线电发射电路的基本组成,如图 2 所示。

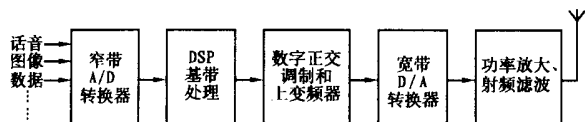


图 2 软件无线电发射电路的基本组成

软件无线电中的各种调制信号是以一个通用的数字信号处理平台为支撑,利用各种软件产生的。因此,在软件无线电中,可通过不断更新调制模块的软件来适应不断发展的调制体制,因而采用软件无线电调制技术具有相当大的灵活性和开放性。理论上,各种通信信号都可用正交调制的方法实现,如图 3 所示。

根据图 3,可以写出正交调制的时域表达式:

$$S(t) = I(t)\cos(\omega t) + Q(t)\sin(\omega t) \quad (1)$$

式(1)中, ω 为载波角频率。调制信号的信息包含在 $I(t)$ 和 $Q(t)$ 内。由于各种调制信号都是在数字域

实现的,因此,在实现时要对上式进行数字化处理

$$S(n) = I(n)\cos(n\omega) + Q(n)\sin(n\omega) \quad (2)$$

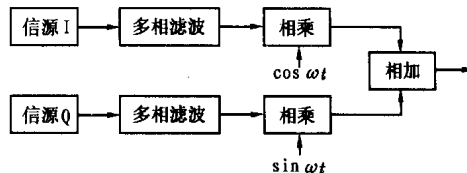


图 3 正交调制的实现框图

在对调制信号和载波频率进行数字化处理时,其采样频率可能不一样。这里,多相滤波器的主要作用就是用来提高数据源的采样速率,使得调制信号的采样速率和载波的采样速率一致。

4 利用 AD9857 作数字正交调制、上变频器和宽带 D/A 转换器

ADI 公司的 AD9857 是一种 14 位数字正交调制、上变频器,采样速率为 200 MS/s。AD9857 内部集成为一个高速 DDS(Direct Digital Synthesis)、一个高性能的高速 14 位 D/A 转换器、数字滤波器和其他一些可编程部件,利用这些器件和部件可以形成一个完整的正交数字上变频器,可应用在软件无线电通信系统中作通用的 I/Q 调制器和数字上变频器及 D/A 转换器。AD9857 的功能框图如图 4 所示。

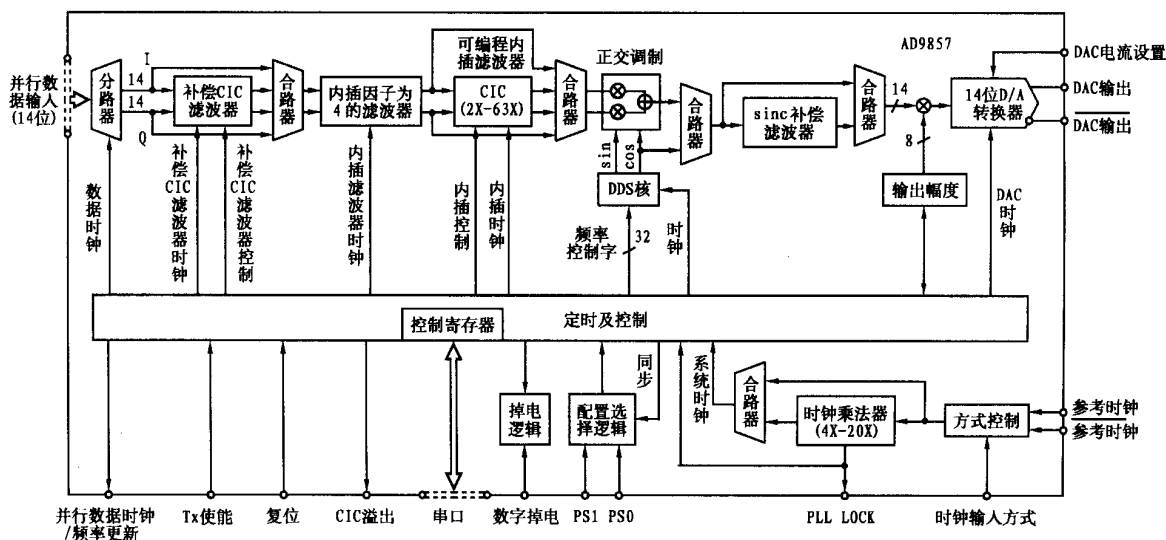


图 4 AD9857 的功能框图

经由 DSP 处理过的基带信号数据通过 14 位的并行数据通道输入到 AD9857,这里输入的数据流是两个正交的基带信号 I 和 Q 交替输入的,在 AD9857 内部分成两路不同的 I 和 Q 数据通道。I 和 Q 数据经过

内插滤波器把数据流速率升至最终输出的数据流速率,然后加到数字正交调制器。

数字正交调制器将由 DDS 核产生的正交载波信号与基带的 I 和 Q 信号相乘,把输入的基带频谱信号

数据流上变换至所需要的载波频率(上变频)。这里,有一点应该注意:输入到数字正交调制器的 I/Q 信号采样率必须与正交载波信号的采样率相同。对输入的基带数据通过内插滤波进行升采样(Upsample)处理,其目的就是使数据采样率等于载波信号的采样率。载波频率是由 DDS 数字控制的,DDS 用内部参考时钟(SYSCLK)产生所需要的高精度载波频率,这个载波信号以正交方式(相位差为 90°)加到 I 和 Q 乘法器上,相乘后再相加,产生出已正交调制过的载波数据流。

注意:已调制过的“信号”实际上是许多以 SYSCLK 速率采样的数据流,输出 D/A 转换器也是用相同的 SYSCLK 时钟来定时。

正交调制输出信号的形式是可选的,其表达式为

$$I \times \cos(n) + Q \times \sin(n) \quad (3)$$

或

$$I \times \cos(n) + Q \times \sin(n) \quad (4)$$

该信号在送到 D/A 转换器之前,先由 AD9857 片内的 SINC 滤波器来补偿 D/A 转换所引起的信号包络的变化,可补偿的载波频率范围是 DC ~ 45% 的 SYSCLK。此外在 D/A 转换器前还有一个 8 位的乘法器,用来调整 D/A 转换器最终的信号输出电平。由于此 D/A 转换器在这里提供了互补的电流输出,构成差分的输出回路,从而可抑制共模干扰信号。

在频率变换的过程中会产生一些寄生干扰信号,需要在 D/A 转换输出后外接一个 RLC 滤波器以滤除这些寄生信号。此时应注意:RLC 滤波器在整个有用的信号带宽内应有良好的平坦度和线性的相位响应,以免对调制性能带来不良影响。AD9857 的外部电路如图 5 所示。

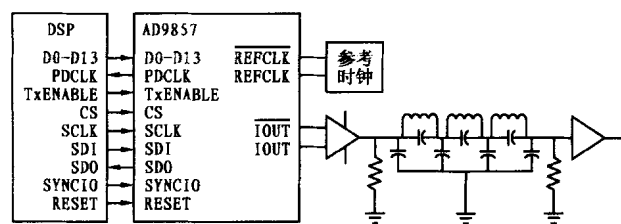


图 5 AD9857 的外部电路

DSP 通过 AD9857 的串口来设置 AD9857 内部的控制寄存器,从而可用软件的方式来控制 AD9857 的工作方式、内插滤波器的工作参数、系统时钟、信号采样频率、调制载波频率以及 D/A 转换输出电平参量。

5 软件无线电接收电路的组成

软件无线电的接收部分主要由滤波器、放大器、

A/D 转换器、数字下变频器、正交解调等组成,其组成如图 6 所示。

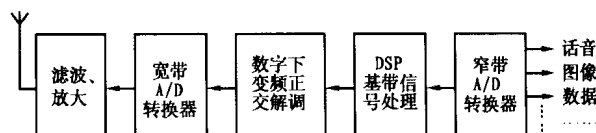


图 6 软件无线电接收电路的组成

从天线接收到的无线电信号经滤波、放大后送到宽带 A/D 转换器转换成数字信号,经过数字下变频和正交解调后,得到正交的 I、Q 基带信号,再送 DSP 进行基带信号处理。

6 利用 AD6644 和 AD6620 组成宽带 A/D 转换和数字下变频器

ADI 公司的 AD6644 是一种单片 14 位 A/D 转换器,内含采样保持电路和基准源。它由单电源供电, TTL/CMOS 兼容电平输出,采样速率可达 65 MS/s,能够精确变换宽带模拟信号,达到低噪声(其信噪比的典型值为 74 dB)和低失真(其 SFDR 值为 100 dB)。它为实现软件无线电接收机提供了业界最佳性能的模数转换器,使在短波和调频波段上实现软件无线电接收机成为可能。

AD6644 采用三级子区式的转换结构。这样做,既保证了精度和速度又减小了功耗和尺寸,其功能如图 7 所示。模拟信号以差分方式输入到 AD6644 经过缓冲后再进入第 1 个采样保持器(TH1),采样保持器的值作为精度较粗的 5 位 A/D 转换器(ADC1)的输入。ADC1 的输出驱动一个 14 位精度的 D/A 转换器(DAC1),DAC1 的输出信号与经过 TH2 延迟的模拟信号相减产生第 1 个剩余信号,并送给采样保持器 TH3,进入由 5 位 A/D 转换器 ADC2、5 位 D/A 转换器 DAC2 和延迟保持器 TH4 组成的第 2 级转换。由第 2 级转换所产生的第 2 个剩余信号送到采样保持器 TH5,再由 TH5 驱动最后的 6 位 A/D 转换器 ADC3。把 ADC1、ADC2 和 ADC3 输出的数字信号一起加到数字校正逻辑,产生最终的 14 位 A/D 转换信号,并以并行的 14 位数据输出。

AD6620 是可编程的数字下变频器,采样速率为 67 MS/s,主要功能有:

- 1) 变频,包括数控本振(NCO)和数字混频,将载波信号下变频至零中频;
- 2) 低通滤波,滤除带外信号,提取有用信号;
- 3) 采样速率转换,降低采样速率,以利于后续信号处理。AD6620 的功能如图 8 所示,主要由 4 个信号处理部分组成:一个频率变换器、两个线性相位固定

系数可编程积分梳状 FIR 抽取滤波器(CIC2、CIC5)和一个可编程 RAM 系数 FIR 抽取滤波器(RCF)。

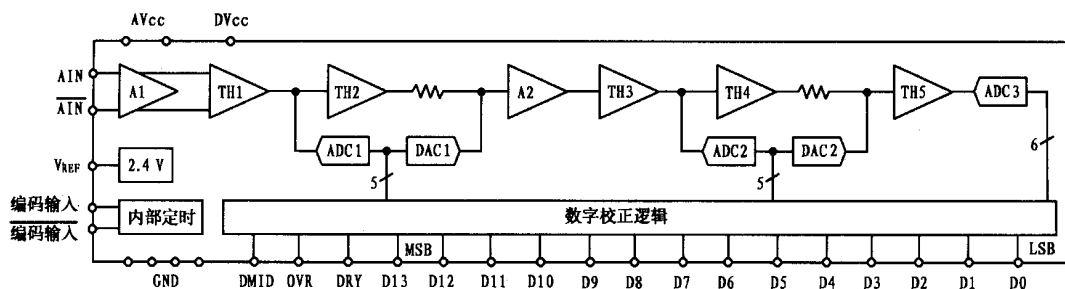


图7 AD6644 功能框图

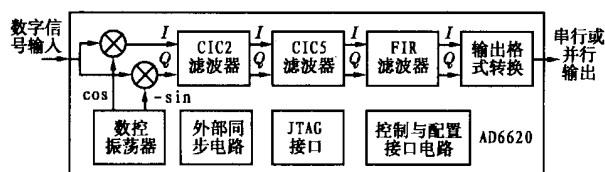


图8 AD6620 功能框图

经过 A/D 转换输出的数据信号输入到 AD6620 经频率变换将输入的有用载波信号变成基带信号并分成相位上正交的 I 和 Q 两个信号分量,这两个数据信号经过两级积分梳状抽取滤波后,其采样率大大降低,再经过 256 阶可编程 RAM 系数 FIR 抽取滤波器,对有用信号整形和滤波,抑制带外信号和噪声,实现匹配滤波和均衡处理,最后将基带 I、Q 数据信号串行或并行输出到 DSP 进行后续处理。

DSP 对数字下变频器 (DDC) 输出信号的后续处理,主要是完成信号解调、解码、调制样式识别以及信号参数估计等工作。由于正交分解后的两路基带信号对上述后续处理往往带来很大的方便和更好的性能,故 AD6620 的下变频、低通滤波和抽取采用正交两路处理结构。

7 结束语

基于上述设计方案的软件无线电系统已研制成

功。目前,由于受宽带天线、高速 A/D 及 DSP 等器件的技术水平的限制,我们还不具备实现一个理想的软件无线电台的条件。

因此,现在对软件无线电的研究,一方面集中在对上述关键技术的研究;另一方面,在现有的技术条件下,研究如何最大程度地实现软件无线电所要求的通用性和灵活性,将软件化、通用化的设计思想体现到具体的应用实践中。

软件无线电技术的诞生,不仅对公众无线电通信系统有积极意义,而且对专用通信系统,也是意义重大。届时,将会在电力、铁路、银行、民航、矿山、国防、航海、海关、水利、宇航、公安等系统或部门获得广泛应用。

除此之外,还将对其他无线电应用工程也有积极意义。因此我们从现在起,就应该熟悉它,运用它。

参考文献:

- [1] ADI 公司. Analog Devices, CMOS 200 MSPS 14-Bit Quadrature Digital Upconverter AD9857[Z]. 2000.
- [2] ADI 公司. Analog Devices, 14-Bit, 40 MSPS/ 65 MSPS A/D Converter AD6644[Z]. 2000.
- [3] ADI 公司. Analog Devices, 67MSPS Digital Receive Signal Processor AD6620[Z]. 2000.
- [4] 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.

The application of AD9857, AD6620 and AD6644 in software radio

CHEN Fan¹, WANG Zhong-jie²

(1. Nanjing University of Posts and Telecom, Nanjing 210003, China;

2. NARI Group Co. Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: In this paper, a method is given of the general hardware platform about software radio using AD9857, AD6620 and AD6644 as a quadrature mod-demodulation, up-downconversion and A/D-D/A converter.

Key words: software radio; quadrature modulation; up-downconversion; analog-to-digital converter