

基于 DDS 和 FPGA 技术的高动态扩频信号源的研究

北京航空航天大学 204 教研室 (100083) 高 琪 张 波 李署坚

摘 要：提出一种基于 DDS 和 FPGA 技术的高动态扩频仿真信号源的实现方案。采用了 DDS 技术的芯片 AD9854 和 AD9850 ,能够模拟多普勒频移 ,实现高动态环境仿真。载波中心频率变化范围达到 100kHz ,变化率 1.8kHz/s。

关键词：扩频 DDS FPGA 多普勒

扩展频谱通信 (Spread Spectrum Communication) 作为一种新型的通信体系 ,具有抗干扰能力强、截获率低、码分多址、信号隐蔽、保密、易于测距等优点 ,是通信领域的一个重要发展方向。正是由于这些优点 ,扩频通信在军事上受到了极大的重视。为配合高动态扩频接收机的研究 ,迫切需要一台能够精确模拟高机动目标环境条件下的扩频信号的信号源。本文提出的基于 DDS(Direct Digital Synthesis)和 FPGA 技术的高动态扩频仿真信号源不但能够模拟扩频信号 ,而且由于采用了使用 DDS 技术的频率合成器 AD9854 ,能够实现高速的频率跳变 ,因此该信号源就能够比较精确地模拟多普勒效应 ,实现高动态仿真。

可编程逻辑器件 (Programmable Logic Device ,PLD) 及其应用是 20 世纪 70 年代诞生的一门新兴技术 ,PLD 具有集成度高、可靠性强、可重复编程等特点。PLD 器件包括 PROM、GAL、EPLD、ispLSI 和 FPGA ,其中 FPGA 编程灵活 ,它的 I/O 引脚多达几百条 ,一片 FPGA 就可以实现逻辑功能十分复杂的逻辑部件或者一个小型数字系统。本文介绍的系统选用 ALTERA 公司的 FLEX10K 系列器件 ,主要完成提取数据和扩频调制。

1 高动态扩频仿真信号源的原理简介

原理如图 1 所示 ,该信号源从原理上主要分为扩频调制和载波调制两部分 ,而单片机则起到核心控制的作用。单片机 AT89C52 一共连接了四个外设 :可编程 I/O 接口芯片 8155、液晶显示模块 MGLS-19264、时钟发生器 AD9850 和频率合成器 AD9854。

(1) 扩频调制。扩频调制主要由可编程逻辑器件 FPGA 来完成。五组 PCM 码和八组 PN 码分别存在两块 EPROM 中 ,液晶显示屏提供给用户一个友好的界面 ,提示用户输入各种参数。单片机依照用户从键盘输入的组别产生地址 ,FPGA 根据单片机提供的地址 ,按照 AD9850 产生的时钟 ,从 EPROM 中提取数据 ,并在 FPGA 内部完成扩频调制 ,然后送出数据 ,进行载波调制。

扩频调制采用直接序列扩频调制 (DS) ,输出的信号波形为 :

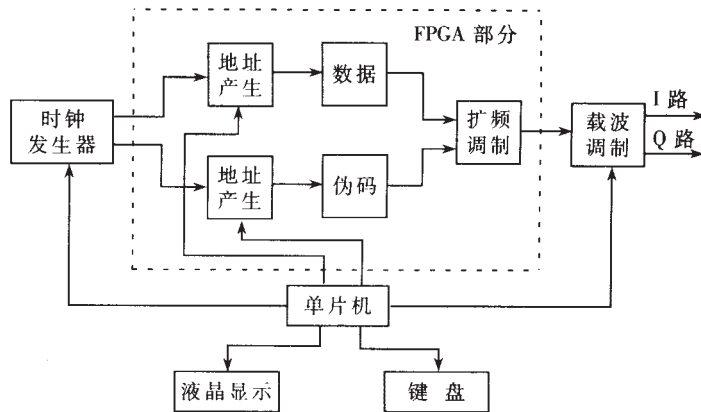


图 1 高动态扩频仿真信号源原理框图

$$C(t) = \sum_n C_n p(t - nT_c)$$

$$\text{式中: } p(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T_c \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad C_n = \pm 1$$

AD9850 使用了先进的直接数字频率合成技术 (DDS) ,是高速、高性能的完全数字化的可编程频率合成器和时钟发生器。此处 AD9850 产生了一个 5.23264MHz 的时钟信号。

(2) 载波调制。载波调制采用二进制相移键控 (BPSK) 。一般的 BPSK 信号的表达式为 :

$$s(t) = \sqrt{2S} \sin(\omega_0 t + d_n \frac{\pi}{2})$$

式中 : $nT_b \leq t \leq (n+1)T_b$ n 为整数 ;

$$d_n = \begin{cases} 1 & \text{概率为 } 1/2 \\ -1 & \text{概率为 } 1/2 \end{cases} \quad S \text{ 是载波信号的功率 ,}$$

直序扩频的 BPSK 信号可表示为 :

$$X(t) = c(t)d(t)\sqrt{2S} \cos \omega_0 t$$

载波调制选用可编程频率合成器 AD9854。AD9854 是采用 DDS 技术、高度集成化的器件。配合内部两个高速、高性能的正交数模转换器和一个比较器来完成数字可编程的 I、Q 两路频率合成功能。AD9854 可以完成 SINGIE-TONE、FSK、RANPED FSK、CHIRP、BPSK 等调制

功能。AD9854 创新的高速 DDS 内核提供了 48 比特的频率分辨率。AD9854 的电路结构允许同时产生两路正交的高达 150MHz 的输出,并且输出的频率可以在数字的调整下以每秒 100 兆个新频率点的速度跳变。两个 12 比特的乘法器可以实现可编程的幅度调制,输出整形键控和精确的正交输出幅度控制。AD9854 的可编程 4~20 倍参考时钟倍频器电路可以用较低频率的外部参考时钟而在内部产生一个高达 300MHz 的时钟。AD9854 工作在并行工作方式下时,有 8 根数据线、6 根地址线与单片机相连。AD9854 的频率控制字 $FTW = F_{out} \times 2^{48} / CLKIN$ 。

通过单片机不断地改变 AD9854 的频率转换字 (FTW)来完成对多普勒效应的模拟。对输出幅度的控制也是通过单片机写 AD9854 内部寄存器来完成。

2 高动态仿真的原理和实现方案

多普勒效应是由于信号发射端与接收端之间的相对运动引起的。本文介绍的高动态扩频仿真信号源模拟的多普勒现象,属于动点对静止点之间的情况。

假设动点以速度 V 面向静止点运动,电磁波传播速度为 C ,发出的信号初始频率为 F ,则静止点接收的频率为: $F' = F \times C / (C - V)$;若动点以速度 V 背向静止点方向运动,则有: $F' = F \times C / (C + V)$ 。设 $F' = F + F_d$,则 $F_d = F' - F$ 。对于前一种情况可得 $F_{d1} = \frac{C}{C - V} F$;而对后一种情况

$F_{d2} = -\frac{C}{C + V} F$ 。由于 $C \gg V$,所以 $F_{d1} = F \times V / C$, $F_{d2} = -F \times V / C$ 。

设动点做匀变速运动,即 $V = at$,则有 $F_{d1} = t \times (F \times a / C)$, $F_{d2} = -t \times (F \times a / C)$,设 $K = F \times a / C$,于是 $F_{d1} = K \times t$, $F_{d2} = -K \times t$, K 为常数。由 $F' = F + F_d$ 可知接收到的频率 F' 围绕中心频率 F 对时间 t 呈线性变化。

因此本信号源模拟的多普勒效应频率变化如图 2 所示(图中 0、1、2、3 表示一个周期的四种状态)。

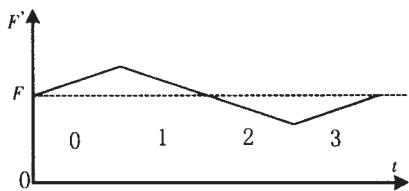


图 2 载波频率变化示意图

在本文介绍的信号源中,载波频率围绕中心频率 10.7MHz 做线性变化,线性变化的范围 Y 和速率 X 由用户从键盘输入。软件实现的方法是利用单片机的定时中断,每 500 微秒计算一次频率,并转化为频率控制字,写入 AD9854。为了提高精度,模拟连续变化,定时的时间越短越好。而单片机内部计算的效率很低,因此为了减少中断服务程序的计算量,可以在中断开始之前把一部分需要用到的参数先计算出来:

载波频率变化的步长: $STEP = X \times t = X \times 500 \mu s$

一个状态内的变化总次数: $TOTAL_COUNT = Y / STEP =$

$Y / (X \times t)$

步长对应的频率转换字: $SFTW = STEP \times 2^{48} / REF_CLOCK$

计算出上述三个参数之后,在中断服务子程序中只需设置一个计数器 COUNT,根据所在的状态(如图 2 所示的 0 或 1、2、3),用中心频率的频率转换字 CENTER_FTW 加上或者减去 $SFTW \times COUNT$,再送至 AD9854 中即可。

当然,也可以将事先计算好的数据存储在一起来,再查表,减少中断响应时间,但是这样存储的数据量比较大:以 $X = 2.0 \text{ Hz/s}$, $Y = 40 \text{ kHz}$, $500 \mu s$ 中断一次为例,就至少要存储 40M 个数据。如果存储的数据过少,所模拟的变化就不够连续。因此,前述方案较好。

实际上,在载波变化的同时,伪码的频率也应该发生相应的变化,变化的方法也是用单片机定时改变 AD9850 的频率控制字,具体的软件技术同 AD9854,此处不再赘述。

3 高动态扩频仿真信号源的软件流程

信号源主程序的流程如图 3 所示。程序初始化包括对 AD9850 和 AD9854 的复位,设置 AD9850 和 AD9854 缺省值,设置数据和伪码的组别初值。液晶显示共有八个显示画面,第二屏至第七屏提示用户输入各个参数。

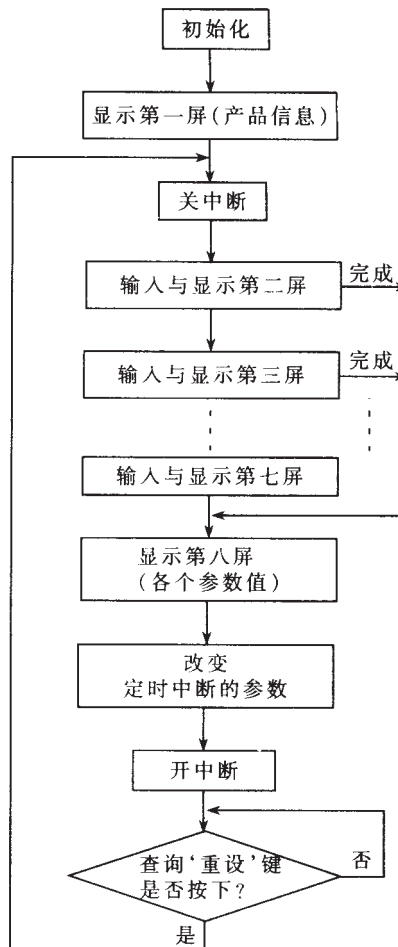


图 3 信号源主程序流程图

一个多媒体扩频通信系统的设计和实现

湘潭大学信息工程学院 (411105) 华南理工大学 (510640) 姚志强
华南理工大学电信学院 尹俊勋 谢 玲

摘 要：介绍了一个多媒体扩频通信系统项目的设计和实现过程,并详细描述了如何用硬件实现点对点和对多点的文件、语音、视频通信。

关键词：扩频 PN 码 通信口

在当今各种信息快速传递的时代,要求更多的通信功能和通信资源,而现在频带已经非常有限。为了提高频带利用率,要求单位波段能具有尽可能大的信息传输容量,移动通信从频分多址(FDMA)到时分多址(TDMA)一直发展到今天的码分多址(CDMA)。这种码分多址的技术基础就是扩展频谱通信(Spread Spectrum Communication)。扩频通信技术可提供点对点或点对多点的数字、语音、图像服务以及广域网、局域网互连,Internet 接入服务。本文介绍一个直接序列扩频无线通信系统,该系统既可作为 CDMA 无线多媒体通信系统的一部分,又可以作为一个单独的系统独立运行。

1 扩频通信技术及其特点

所谓扩频通信,简单地表述如下:扩频通信技术是一种信息传输方式,其信号所占有的频带宽度远大于所传信息必需的最小带宽,频带的展宽是通过编码及调制的方式来实现的,并与所传信息数据无关;在接收端则

用相同的扩频码进行相关解调来解扩及恢复所传信息数据。系统原理图如图 1 所示。

扩频通信具有一系列优良特性,诸如抗干扰性强、隐蔽性好、信息保密传输、任意选址、误码率低、抗多径干扰等。现有的扩频通信系统有多种(直扩、跳频、跳时),本项目使用直接序列扩频(DS)。直接序列扩频就是直接用具有高码率的扩频码序列,在发端去扩展信号的频谱,在收端用相同的扩频码去进行解扩。把展宽的扩频信号还

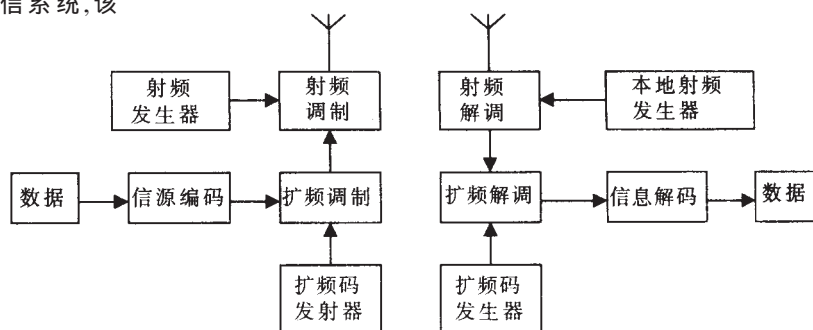


图 1 扩频数字通信系统原理框图

(接上页)

需要设定的参数有:数据码组、伪码码组、帧码容错数、载波变化范围、载波变化率、伪码变化率、输出幅度衰减方式等。然后单片机同时工作中断和查询方式。如果查询到‘重新设定’的键被按下,就禁止中断,重新输入参数,再开中断模拟新的参数条件下的信号。

4 高动态扩频仿真信号源的性能指标

- 体制: PCM-CDMA-BPSK;
- PCM 数据: 码率 10.26/5.12kbps 可选, 帧长 32/16Byte 可选, 帧码容错由面板手动加;
- 信道编码: 维特比编码 $K=7$, $r=1/2$;
- 扩频调制: 伪码率: 5.23264MHz, 伪码长 255/511 可选; 伪码类型: GOLD 码, 内存八组 PN 码;
- BPSK 调制: 载波中心频率 10.7MHz;
- 动态特性: 载波中心频率变化范围 $\pm 100\text{kHz}$, 变化

率 $\geq \pm 1.8\text{kHz/s}$, 伪码变化范围 $\geq \pm 300\text{Hz}$ 。

DDS 技术采用全数字结构,具有极高的频率分辨率,极短的频率转换时间,输出频率相对带宽很宽,具有程控灵活的优点,是传统的模拟信号产生技术所无可比拟的。

前述的基于 DDS 和 FPGA 技术的高动态扩频仿真信号源设计原理正确,输出稳定,实用中效果很好。在扩频通信高速发展的今天,高动态扩频仿真信号源的应用前景必将非常广阔。

参考文献

- 1 朱近康. 扩展频谱通信及其应用, 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1995.10
- 2 樊昌信. 通信原理. 长沙: 国防工业出版社, 1995
- 3 林宝玺, 胡志英. 多谱勒雷达. 长沙: 国防工业出版社, 1982.11
- 4 AD9854 PRELIMINARY TECHNICAL DATA. 1999

(收稿日期: 2002-1-24)