文章编号:1008-0570(2006)08-2-0191-03

CPLD+DDS 在调频连续波雷达中的应用

Application of CPLD and DDS in the Linear FM-CW Radar

(南京信息工程大学)刘红兵 陈钟荣
Liu,Hongbing Chen,Zhongrong

摘要:传统的线性调频连续波(LFM-CW)雷达测距系统很难克服由压控振荡源的非线性以及很低的频率分辨率对其测距精度的影响,本文提出了基于直接数字式频率合成(DDS)这一新技术,由 CPLD 进行高速控制,从而实现 LFM-CW 雷达测距系统的方案。结合关键模块的框图,阐明了其实现原理与方法。

关键词:直接频率合成(DDS); CPLD;线性调频连续波(LFM-CW) 雷达
中图分类号:TN958 **文献标识码**:A

Abstract: It is very difficult for traditional linear FM-CW radar ranging system to overcome the influence to the range precision made by the sweep nonlinearity and low frequency resolution of voltage controlled oscillator (VCO). This paper gives a scheme to achieve the LFM-CW radar ranging system which is based on DDS and controlled by CPLD, clarifies the theory and method with frames of key modules.

Keywords: direct digital synthesizer(DDS),CPLD, linear FM-CW radar

引言

随着高速大规模集成电路技术的发展,近年出现了直接数字合成(Direct Digital Synthesis,简称 DDS)技术。DDS 作为新一代数字频率合成技术,发展迅速,并显示了很大的优越性,已经在军事和民用领域得到了广泛应用,例如在雷达领域的捷变频雷达、有源相控阵雷达、低截获概率雷达、通信领域的跳频通信、扩频通信,电子对抗领域的干扰和反干扰,仪器仪表领域的各种合成信号,医学领域等方面。

线性调频连续波(LFM-CW)雷达主要用于检测和跟踪近距离目标,消除了雷达的距离盲区,在高速公路上的汽车防撞、炼铁过程中的物料监测等近距离的测控领域里具有广阔的应用前景,但在传统的连续波调频测距电路中,VCO 的调频非线性特性、模拟电路中很低的频率分辨率则对 LFM-CW RADAR 的测距精度产生很大的影响。

针对这一矛盾,本文提出了用 DDS 代替三角波产生电路和压控振荡源,利用 CPLD 对其进行控制,很好地解决了这个问题。

1 DDS 基本原理与结构

DDS 基本结构框图如图 1 所示,DDS 由相位累加器、正弦查询表、数/模转换器(DAC)和低通滤波器(LPF)组成,图中的参考时钟是一个稳定的晶体振荡器,用它来同步整个合成器的各个组成部分。相位累加器类似于一个简单的计数器,在每个时钟脉冲输入时,它的输出就增加一个补偿的相位增量值。相位累加器把频率控制字 FSW 的数据变成相位抽样来确定输出频率的大小。相位增量的大小随外部指令 FSW 的不同而不同,一旦给定了相位增量,输出频率也就确定了。图中的正弦查询表是一个可编程只读存储器(PROM),存有一个或多个完整周期的正弦数据。在时钟 f_c 驱动下, 地址计数器逐步经过 PROM 的地址,地址中相应的数字信号输出到 N 位数/模转换器的输入端,由 DAC 转换成模拟信号。当用这样的数据寻址时,正弦查询表就把存储在相位累加器中的抽样值转换成正弦波幅度的数字量函数。数/模转换器把数字量变成模拟量,低通滤波器进一步平滑并滤掉带外杂散信号,得到所需的正弦波波形。

DDS 的输出频率 f_o 和参考时钟 f_c、相位累加器长度 N 以及频率控制字 FSW 的关系为:

$f_o=f_c\cdot FSW/2^N$,DDS 的频率分辨率为 $\Delta f_o=f_c/2^N$,由于 DDS 的输出最大频率受奈奎斯特(Nyquist)抽样定理限制,所以 $f_{max}=f_c/2$

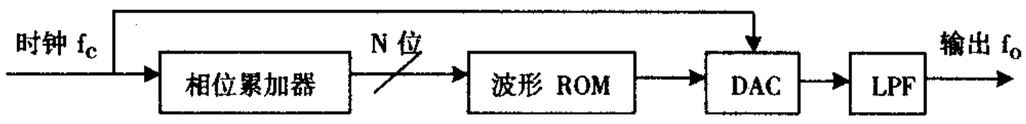

图 1 DDS 基本结构框图

2 LFM-CW 雷达测距原理

在调频连续波雷达中,测距的时间标志是发射频率的变化。回波信号的延迟时间,是与发射信号与回波信号之间的频率差成正比的。因此,它可以精确地

刘红兵:硕士研究生
基金资助:本项目受国家自然科学基金(40275010)资助

万方数据

测定目标的距离。发射频率随着时间的变化规律,可以按照一个已知的函数形式变化。例如发射频率随时间的增加而线性地增加，就是一种线性变化的形式，这是一种最简单的函数关系,如图 2 所示。

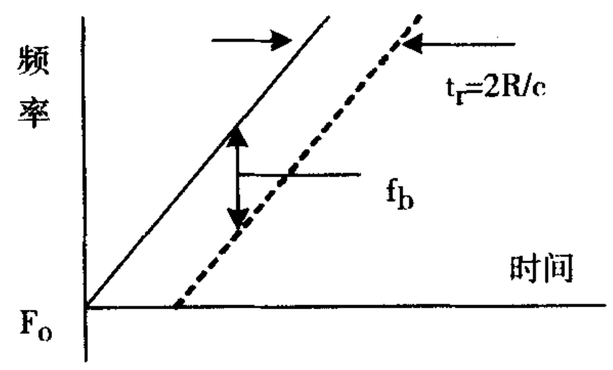

图 2 线性频率调制

图中所表示的调制关系,称为线性调制。假设在距离为 R 的地方有一个固定目标,则回波信号的时延是,t_r=2R/C。

上式中 t_r 为回波信号的时延,R 是目标的距离 c 是光速 c 回波信号如图 1 中的虚线所示。当把从固定目标来的回波信号和从发射机来的参考信号 (或称为基准信号)加在一个非线性电路(例如混频器或检波器等)中去以后,输出差额信号 f_b。很明显这个差额信号不是多普勒频移， 只是由目标的距离而引起的差频信号,所以取 f_o=f_r,(f_r 是由目标的距离而引起的差额信号)。

如果发射频率用 f_o 表示,发射频率在单位时间内的变化用 τ 表示(称为载频频率的变化率),则差频信号 f_r 可用下式表示:f_r=τt_r=τ(2R/c)。上式中,载频频率的变化率是已知的(在 DDS 中通过编程设定),因此只要用接收机测量出差频信号 f_r，便可唯一地确定目标的距离。

3 DDS 在 LFM-CW 雷达中的实现

3.1 系统的组成结构

理论上,FM-CW 雷达的调制波可以是任何波形。但是,在实际的 FM-CW 雷达中,发射频率不可能在一个方向上无限制地上升。常常采用周期性变化的波形,去调制发射机的频率。例如三角波、锯齿波、正弦波或其他的调制波形等。本系统中应用的是正弦波调制,其基本结构如图 3 所示:

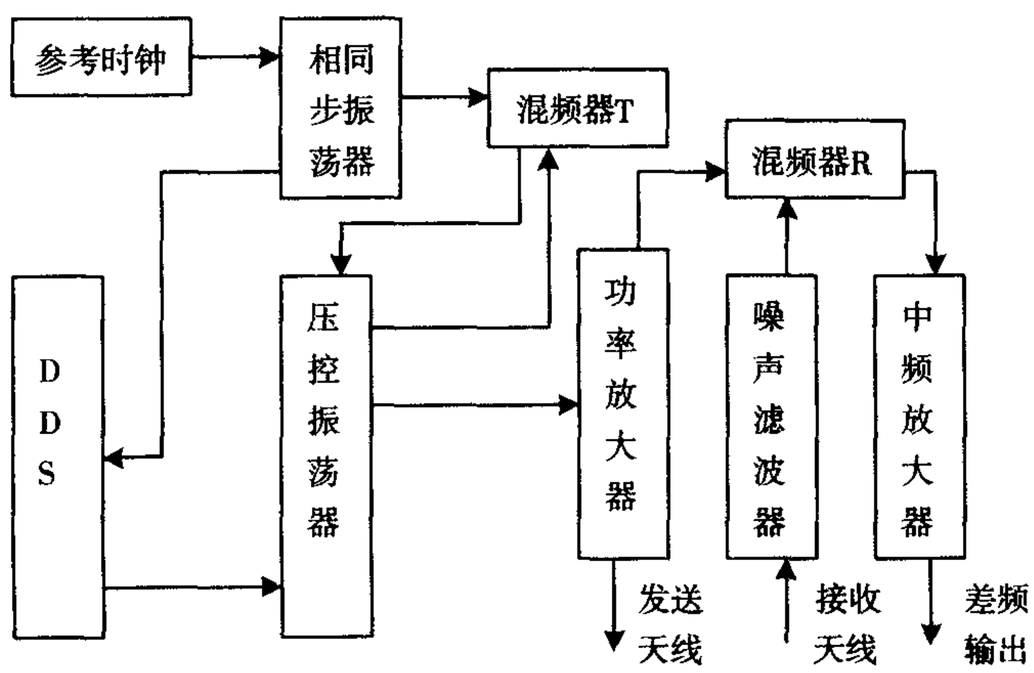

图 3 系统组成结构框图

系统所需的所有时钟都是基于参考时钟实现的,由相同步振荡器、DDS、压控振荡器、混频器 T 以及功率放大器构成雷达的发射模块,产生符合要求的正弦波线性调频信号,经发送天线发射出去;接收天线将接收到的回波送至由噪声滤波器、混频器 R 以及中频放大器构成的接收模块，产生符合要求的差频信号,此差频信号经由进一步处理便可得出相差的频率值,并由此反演出被测目标的距离。这就是 LFM-CW 雷达测距系统的整个工作过程,可见 DDS 在其中的主要作用是产生符合一定要求的调频信号,它可以通过对其相应地址的寄存器进行配置实现。为了满足系统对高速控制的需求，我们采用了 CPLD 对其进行控制。

3.2 调频信号的产生

产生调频信号的核心器件是 DDS 芯片 AD9852,AD9852 共有 5 个可编程工作模式:单音调、FSK、斜坡 FSK、线性调频脉冲和 BPSK。若要选择一个工作模式,需要对控制寄存器(并行地址 1F hex)内的 3 个数位进行编程。本系统采用的是斜坡 FSK 模式(Mode 010),在此模式下还有两个必须编程的控制字:起始频率字和增量频率字,它们可以由系统中给定的工作时钟、起始频率、扫频时间与扫频带宽计算得出。如我们选择系统时钟 300MHz,起始频率 10MHz,扫频时间 100us,扫频带宽 20MHz,则只需对起始频率字寄存器(地址为 0X04~ 0X09)分别写入十六进制数 08,88,88,88,88,89,对增量频率字寄存器(地址为 0X10~ 0X15)分别写入十六进制数 00,00,4A,90,BE,58 即可。

可见要控制 AD9852 输出符合条件的调频信号,只需对其相应的寄存器写入正确的控制字,加上合理的控制时序即可。事实上,设置一种工作模式最多需要四十个寄存器地址，也就是说，容量为 2^n 的存储器,最多可以存储 2^n/40 个以上的工作模式,但是为了操作方便及增强可移植性，我们可以采用 2^6=64bytes 为一个 bank(地址线 adr0~ adr5),由剩余的高位地址线进行模式选择,以 10K 存储器为例,一共可以预设 2^5=32 种工作模式。

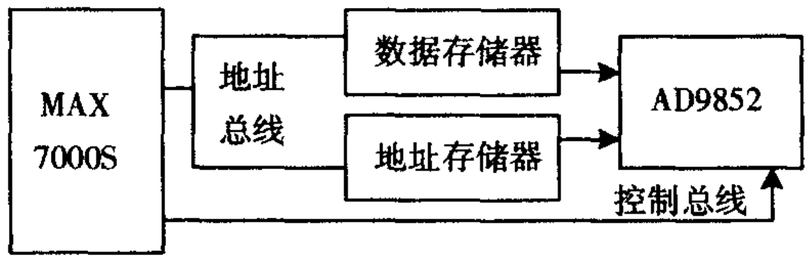

图 4 DDS 控制结构框图

系统中我们选用 Altera 公司的 MAX7000S 系列 CPLD 读取预先存储在外部 EEPROM 中的寄存器配置字对 DDS 芯片 AD9852 进行在系统配置,如图 4 所示。CPLD 的控制功能是基于 MAX+plus Ⅱ 由顶层框图和底层 VHDL 语言设计的层次性结构实现,其输入输出引脚功能定义如表 1:

万方数据

表 1 CPLD 的引脚功能定义

名称	性质	功能
VCC	电源	提供 CPLD 工作电压
GND	电源	零参考电位
addr0~addr10	地址线输出	存储器寻址，输出相应数据控制 AD9852
upclkb	控制线输出	上升沿将 AD9852 缓冲区的数据装入寄存器
wrb	控制线输出	上升沿将 AD9852 输入数据装入缓冲区
rdb	控制线输入	读取 AD9852
holdb	控制线输出	保持状态控制线
shapeb	控制线输出	选择编程控制器的运用方式
resetb	控制线输出	开机时产生连续两个复位脉冲，保证可靠复位
A4~A0	控制线输入	预设模式选择字（共可预设 2^5=32 种模式）
T2,T1	普通输出口	测试点，便于调试用
TCK,TDO,TMS,TDI	普通 I/O 口	JTAG 接口
gclk	时钟输入口	提供系统基准时钟

4 结束语

本文将 DDS 技术引进了 LFM-CW 雷达，代替压控振荡器，避免了压控振荡器的扫频非线性，用 CPLD 控制，可以弥补单片机控制的低速限制，具有较强的可移植性与较高的性价比。目前已被成功地应用于我们研制的昆虫监测多普勒雷达系统中，用于防止由大规模害虫造成的农业灾害，而其超低空探测的原理与手段，可以被应用到多种类似的场合。下一步改进的目标是将 CPLD 与外部存储器模块的功能以及对差频输出信号的处理由 DSP 芯片实现，进一步提高系统的集成度、灵活性与性价比。

文章创新点：将 DDS 技术引进了 LFM-CW 雷达，代替压控振荡器，避免了压控振荡器的扫频非线性，用 CPLD 进行高速控制，可以弥补单片机控制的低速限制，具有较强的可移植性与较高的性价比。

参考文献：

[1]袁伟，葛临东.DDS+PLL 短波频率合成计[J].微计算机信息，2005,7-1:139-141.

[2]张伟.采用 DDS+PLL 技术实现的 L 波段频率合成器 [J].微计算机信息，2005,11-2:154-156.

[3]黄智伟.无线发射与接收电路设计[M].北京：北京航空航天大学出版社，2004.5:806-836.

[4]蒋培杰.现代气象雷达[M].北京：气象出版社，1987.12.

作者简介：刘红兵：男，汉族，1982 年生，江苏靖江人，南京信息工程大学电子工程系硕士研究生。研究方向为单片机与嵌入式系统应用。E-mail: catayelo@163.com。陈钟荣：男，汉族，1964 年生，江苏如东人，南京信息工程大学电子工程系副教授。研究方向为数字化雷达的研制与应用等。

Biography:Liu Hongbing: male, the Han nationality, born in Jingjiang in Jiangsu province in 1982, graduate student in the department of electronic engineering at Nanjing university of information science and technology. research direction: the application of MCU and embedded system.E -mail: catayelo@163.com.Chen Zhongrong: male, the Han nationality, born in Rudong in Jiangsu province in 1964, associate professor in the department of electronic engineering at Nanjing university of information science and technology. research direction: the research and application of digital radar.

(210044 江苏南京信息工程大学)刘红兵 陈钟荣

(Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu, 210044) Liu,Hongbing Chen,Zhongrong

通讯地址：(210044 江苏南京南京信息工程大学 9# 信箱)刘红兵

(收稿日期:2005.12.2)(修稿日期:2006.1.2)

(接 121 页)power parameters. CONTROL & AUTOMATION, 2005 No.2 P.115-116.

[3] PENG F Z. Harmonic Sources and Filtering Approaches. IEEE Industrial Applications Magazine, 2001, 7(4): 18~25.

[4]李达义,陈乔夫,贾正春.一种新型的串联型有源电力滤波器.电力系统自动化,2000,24(18):27-29LI Da-yi, CHEN Qiao-fu, JIA Zheng-chun. A New Type Series Active Power Filter. Automation of Electric Power Systems,2000, 24(18): 27-29.

[5] LIANG Yi-qiao, NWANKPA C O. A New Type of STATCOM Based on Cascading Voltage-source Inverters with Phase-shifted Unipolar SPWM. IEEE Trans on Industry Applications, 1999, 35 (5): 1118-1123.

[6]朱永强,刘文华,邱东刚,等.基于单相 STATCOM 的不平衡负荷平衡化补偿的仿真研究. 电网技术.2003.27 (8):42-45,71. ZHU Yong-qiang, LIU Wen-hua, QIU Dong-gang et al.Simulation Study of Balancing Compensation of Unbalanced Load Based on Single Phase STATCOM. Power System Technology, 2003, 27(8): 42-45, 71.

[7]王兆安,杨君,刘进军.谐波抑制和无功功率补偿.北京:机械工业出版社,1998. WANG Zhao-an, YANG Jun, LIU Jin-jun. Harmonic Suppression and the Passive Power Compensation. Beijing: China Machine Press, 1998.

作者简介：曾群，男，生于 1967 年 4 月，汉族，江西赣州人，南昌大学信息工程学院，副教授，博士研究生，专业为控制理论与控制工程，主要从事单片机应用及控制理论研究与教学工作 E-MAIL：zeng_qun@tom.com。

Biography: Zeng,Qun, male, was born in April, 1967, the Han Nationality, the Nanchang University Information Engineering Institute, associate professor, the graduate student, specialized for control theory and control engineering, mainly is engaged in the Single Chip Microcomputer application and the control theory research and the teaching work.

(330029 南昌大学信息工程学院) 曾群

(Information Engineering Institute, Nanchang University, Nanchang 330029, China)Zeng,Qun

通讯地址：(330029 江西省南昌市南昌大学南区信息工程学院)曾群

(收稿日期:2005.12.13)(修稿日期:2006.1.11)

万方数据