

基于 DSP 的脉冲雷达基带信号发生器设计*

李正周, 郑 微, 雷晓龙, 王 宇, 徐伯禹

(重庆大学通信工程学院, 重庆 400030)

摘要:利用雷达回波信号发生器模拟特定环境的雷达信号是验证信号处理系统有效性既经济又有效的手段。本系统设计和实现了一种基于 DSP 和单片机的基带脉冲雷达回波信号产生器,采用单片机将编码后的脉冲雷达信号参数输入 DSP; DSP 解析脉冲雷达信号参数后产生目标信号、噪声信号、同步控制信号和复合信号,并通过 D/A 转换为模拟信号输出。可以实现根据外部要求产生目标运动轨迹和信噪比可控制的信号波形,在较宽范围内具有可调节性。

关键词:脉冲雷达回波;运动目标信号;噪声杂波;复合基带信号;信号发生器

中图分类号:TN957 **文献标志码:**A

Pulse Radar Baseband Echo Signal Generator Design Based on DSP

LI Zhengzhou, ZHENG Wei, LEI Xiaolong, WANG Yu, XU Baiyu

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: It is an effective and economical means to verify the effectiveness of radar signal processing systems by simulating radar echo signal in some specific condition. A pulse radar echo signal generator based on digital signal processor (DSP) and single chip was designed and realized in this system. The encoding parameters of pulse radar echo signal was transferred through single chip to DSP, then DSP analyzed these encoding parameters and generated target signal, noise signal, synchronous signal and composite baseband signal, and the composite baseband signal was converted to analog signal and output. This signal generator can generate complex radar signal waveform according to the input parameters such as target trajectory and signal-to-noise ratio in real-time.

Keywords: pulse radar echo signal; moving target signal; noise and clutter; composite base-band signal; signal generator

0 引言

现代雷达系统的工作环境越来越恶劣,回波信号也十分复杂,要求在强杂波中有效检测出目标和提取其有关参数成为提升雷达系统性能的关键和挑战。传统的验证方式是采取真实目标,即在一定的环境中雷达发射机发射信号,信号处理机接收并检测目标信号。这种方式是客观的,但也存在巨大的资源损耗和不可重复性。这种情况下,研究雷达信号模拟器产生一些特定环境的雷达回波信号来验证信号处理方法的有效性则是一种既经济又有效的手段^[1-2]。

雷达基带回波信号模拟器分为三种类型,即全硬件实现;微机+DSP组合;微机+高速 D/A 转换卡。第一种方式往往利用单片机、PLC 等微处理器及其扩展功能产生简单波形的目标回波信号,难以复原环境较为复杂的雷达信号。后两种方法是一种半实物物

理仿真设备,雷达信号环境和信号处理还需要采用计算机模拟和处理。通过采用计算机软件产生复杂波形的噪声,真实程度高,但一旦脉冲雷达信号参数改变,就需要 PC 机重新计算,再将其下载到 DSP 中,使用灵活性却受到限制。

文中设计的脉冲雷达回波信号发生器包括单片机和数字信号处理器(DSP)两部分。单片机为上位机,DSP 系统则为下位机,单片机将天线参数、脉冲重复频率(PRF)、目标幅度、信噪比等脉冲雷达信号参数形成一定格式数据包,通过多通道缓冲串口(MCB-SP)传输给数字信号处理器(DSP);DSP 则利用脉冲雷达信号相关参数设计和控制信号处理方法形成数字脉冲雷达信号,经过 D/A 转换为模拟信号。本系统可根据外部要求产生目标运动轨迹和信噪比可控制的信号波形,在较宽范围内具有可调节性。

* 交稿日期:2010-09-26

基金项目:国家自然科学基金(61071191);中央高校基本科研业务费资助(CDJXS10160008, CDJXS11160009, CDJZR10160004);重庆大学大学生科研训练计划项目资助

作者简介:李正周(1974-),男,重庆人,副教授,硕士生导师,博士,研究方向:雷达信号处理、高速实时信号处理系统设计等。

1 信号模型和产生算法

脉冲雷达基带回波信号包括目标信号、杂波和噪声^[3-4],可表示为:

$$x_r(t+nT_p) = s_r(t+nT_p) + n_c(t+nT_p) + n_n(t+nT_p) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (1)$$

其中: $s_r(t)$ 为目标回波; $n_n(t)$ 表示噪声; $n_c(t)$ 表示杂波; T_p 为脉冲雷达周期.雷达信号检测则是从回波信号中提取目标距离、空间角度和速度等信息,由此建立起对目标的跟踪.

1.1 噪声信号的产生

文中采用 Logistic 映射算法产生随机序列^[5-6],它通过以下多项式:

$$X_i = 1 - 2 \times X_{i-1}^2 \quad (2)$$

迭代运算产生.给定一个位于区间 $[-1,1]$ 的初值,迭代后的下一个值也必将落在区间 $[-1,1]$ 中,再将下一个值代入上式,如此反复迭代 N 次,可产生 N 个位于 $[-1,1]$ 的值 $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$.

待每个随机序列元素 X_i 产生后,再通过余弦映射法将其与一个特定的调频频道对应,产生跳频序列,检查 $X_i \in (\cos(k\pi/N), \cos\pi)$ 是否成立,如成立则将元素 X_i 设置为跳频序列的第 k 个元素,这样就形成伪随机噪声,如图 1 所示.

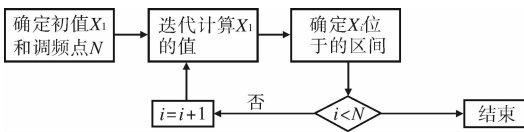


图 1 余弦映射法原理

1.2 运动目标的产生

雷达性能通常用所能检测到的给定散射截面目标的最大作用距离来表征.雷达方程的基本形式可写为:

$$R_{max}^4 = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma_T}{(4\pi)^3 S_{min}} \quad (3)$$

式中: R_{max} 为最大探测距离; P_t 为发射信号功率; G_t 为发射天线增益; G_r 为接收天线增益; λ 为发射电磁能量的波长; σ_T 为目标雷达散射截面; S_{min} 为接收机最小可检测信号.

显然,接收机接收到的目标回波信号随着目标距离的增加而减弱.在设定雷达有关参数后,即可计算出目标信号强度 S 随目标距离 R 的变化情况.

$$S = \frac{R_{max}^4}{R^4} S_{min} \quad (4)$$

同时,目标回波总是混杂在噪声中,需要利用信

噪比参数将目标回波信号与噪声融合在一起.采用方法是根据式(4)计算出的目标回波信号强度 S ,以及统计出的噪声均值 M 和方差 σ^2 ,再根据信噪比式(5)调整目标信号强度:

$$SNR = 20 \log_{10} \frac{(S - M)^2}{\sigma^2} \quad (5)$$

1.3 杂波信号的产生

雷达信号在传输的过程中经常受到地杂波、海杂波、气象杂波的干扰.杂波的存在严重影响了回波信号的接收性能.由于杂波信号比较复杂,文中主要对静止杂波进行模拟,即根据杂波所在区域设置杂波信号幅度,其信号幅度服从于目标类似规律.

2 系统硬件结构

图 2 为文中设计的基于 DSP 的脉冲雷达基带回波信号发生器的原理框图,主要包括 TMS320C6416 DSP、电源、数据存储 SRAM、程序存储器 FLASH、MCBSP 扩展接口、D/A 芯片、单片机、键盘和液晶显示屏.在该系统中,单片机为上位机,DSP 系统则为下位机.

首先,通过键盘将天线参数、脉冲重复频率 (PRF)、目标幅度、目标信噪比、初始距离和速度等脉冲雷达信号参数输入单片机,单片机对参数解析后形成一定格式数据包,并通过多通道缓冲串口 (MCBSP) 传输给数字信号处理器 (DSP);DSP 按相应格式解析脉冲雷达信号参数数据包,利用脉冲雷达信号相关参数设计和控制信号处理方法形成数字脉冲雷达信号,经过 D/A 转换为模拟信号.同时,参数显示在液晶显示屏上,以便观察.另外,单片机向 DSP 传输脉冲雷达信号参数时采用了编码的数据包,数据包包括前端码和信息码.前端码为参数的类型,如目标起始位置,前段码设置为 00110001B.信息码为参数的数值.

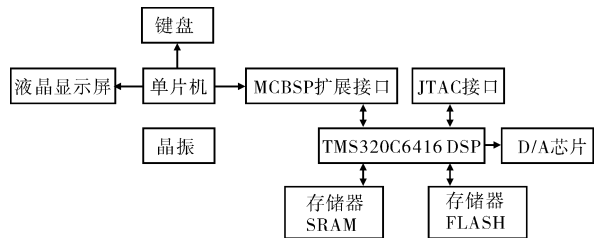


图 2 基于 DSP 的脉冲雷达基带回波信号发生器原理框图

3 实验结果及分析

图 3 是一定信噪比时多个脉冲周期雷达基带回

波信号在示波器中波形,其中幅值较高的脉冲为目标回波,其余的区域则为噪声,幅度低的直流电平为脉冲同步信号。同时,目标回波信号正在移动,但由于脉冲周期内移动距离有限,较难分辨移动范围。

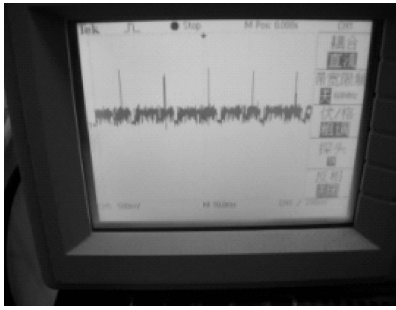


图 3 脉冲雷达基带回波信号

DSP 分析接收到的数据包,提取出参数类型和数值来产生脉冲雷达信号的波形。

与图 3 相比,图 4 是信噪比相同而时刻不同时的脉冲雷达基带回波信号在示波器中波形。目标回波已经移动到一个脉冲周期的中间位置,对比图 3 和图 4 能清楚分辨目标回波信号移动方向和速度。

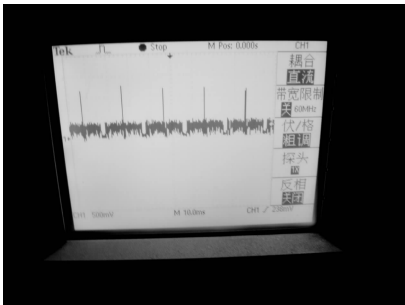


图 4 不同时刻的脉冲雷达基带回波信号

图 5 是低信噪比时脉冲雷达基带回波信号在示波器中波形,目标回波淹没与噪声之中,难以辨识出目标信号。

此外,还对设计产生的基带脉冲雷达回波信号与实际天空背景下飞行的飞机基带脉冲雷达回波信号进行对比分析。试验表明,在信噪比一定时,回波信号的波形、目标和噪声幅度与实际回波信号极为一致,

证实本设计所产生信号是有效的。然而,该设计产生的基带脉冲雷达回波信号存在噪声频率较真实噪声信号低,波形较真实波形粗糙,可通过提高 DSP 芯片工作频率和增大随机序列的周期 N 长度来改善此缺陷。

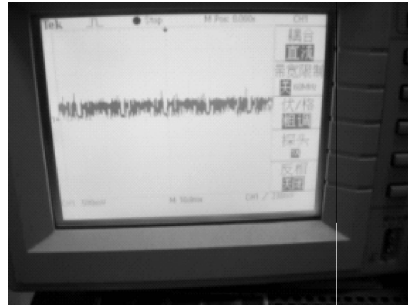


图 5 低信噪比时脉冲雷达基带回波信号

4 结论

文中设计和实现了一种基于 DSP 和单片机的基带脉冲雷达回波信号产生器,可根据外部要求产生目标运动轨迹和信噪比可控制的信号波形,在较宽范围内具有可调节性,具有一定应用和参考价值。

参考文献:

- [1] 张麟兮,许家栋,李萍,等. 雷达接收系统仿真[J]. 计算机仿真,2007,24(5):298-301.
- [2] 张长隆,李纲,周良柱. 通用地面雷达杂波模拟器的设计与实现[J]. 现代雷达,2003,25:15-16.
- [3] 张恒,韩壮志,何强,等. 基于 DSP 的便携式火控雷达信号模拟器设计[J]. 科学技术与工程,2009,9(18):5500-5504.
- [4] 邓鹏飞,张剑云,游志刚. 基于 DSP 的雷达信号分选实用技术[J]. 现代雷达,2005,2(8):79-82.
- [5] Madhekar Suneel. Electronic circuit realization of the logistic map [J]. Sadhana,2006,31(1):69-78.
- [6] 张瑞华,刘庆华,周德新. 伪随机噪声产生算法及 DSP 实现[J]. 声学 & 电子工程,2003(2):22-23.