

# 基于 LabVIEW 的多级伪随机码调相信号仿真

谢鑫, 杜松

(海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

**摘要:**设计一种多级伪随机码调相信号仿真系统;在深入分析伪随机码产生原理和性能特点的基础上,利用 LabVIEW 环境图形化和模块化的优势,通过索引数组移位寄存器和建立条件结构的方法实现多级伪随机码调相信号的仿真;结果表明:系统操作界面友好,具有较强的灵活性和可扩展性,可用于演示伪随机码调相信号的产生和验证引信的抗干扰性能。

**关键词:**LabVIEW;多级数;伪随机信号;移位寄存器

**本文引用格式:**谢鑫,杜松.基于 LabVIEW 的多级伪随机码调相信号仿真[J].兵器装备工程学报,2017(7):156-159.

**Citation format:**XIE Xin, DU Song. The Design of Multi-Level PN Code Phase Modulation Signal Simulation System Based on LabVIEW[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017(7):156-159.

**中图分类号:**TJ55;TN 919

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-2304(2017)07-0156-04

## The Design of Multi-Level PN Code Phase Modulation Signal Simulation System Based on LabVIEW

XIE Xin, DU Song

(Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China)

**Abstract:** This paper intended to design a multi-series PN code phase modulation signal simulation system. Based on in-depth analysis of generation principle and performance features, taking advantages of LabVIEW environment graphical and modularization, the simulation of multi-level PN code phase modulation signal is realized by indexing array shift register and establishing conditional structure. The results show that the system has friendly interface, strong flexibility and expansibility, and can be used to demonstrate the generation of PN code phase modulation signal and to verify the anti-jamming performance of the fuze.

**Key words:** LabVIEW; multi-level; PN code; shift register

引信是各种弹药终端毁伤效能的控制系統,在现代战争中有着不可或缺的地位。伪随机码调相无线电引信具有检测灵敏度高、抗干扰能力强和无模糊距离测量等特点而得到广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。随着电子技术和虚拟仪器技术的发展,引信信号的仿真更加灵活经济,逐渐成为引信设计和分析的重要手段。

LabVIEW 是美国 NI 公司推出的一款优秀的图形化编程

语言,它使用图标代替文本创建应用程序,拥有大量与其他应用程序通信的 VI 库。LabVIEW 操作灵活,容易编制良好人机界面,广泛应用到图形仿真、数据采集、测量分析等领域<sup>[3]</sup>。

传统的伪随机码发生器功能较为单一,只能产生特定的伪随机码,不利于演示观测。利用 LabVIEW 设计实现的多级伪随机码调相信号,简化了系统的复杂程度,缩短了开发

周期,对伪随机码原理教学演示以及研究引信伪随机码探测体制抗干扰能力都有一定意义。

## 1 基本原理

### 1.1 伪随机码序列生成

伪随机码是由线性移位寄存器产生最长的周期性序列。图1是一个  $n$  级线性移位寄存器,  $L$  是模2加法器,执行异或逻辑运算。在时钟脉冲的作用下,暂存在移位寄存器  $H_1$ 、 $H_2$  ...  $H_{n-1}$ 、 $H_n$  的0或1逐级向右移动而发生改变,通过  $H_m$  输出变化了的是编码序列;同时,输出序列又和反馈抽头的序列进行模2加运算,进行下一步移位输出<sup>[4]</sup>。

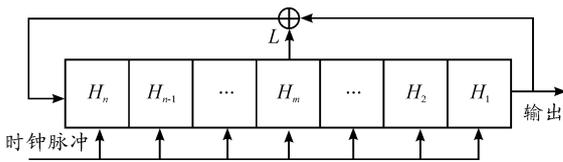


图1 n级线性移位寄存器原理图

### 1.2 伪随机码信号调制

伪随机码调相无线电引信的调制信号是基于二相相移键控调制方式(BPSK)调制的,即发射载波被伪随机码进行调制,相应的发射信号相位在0和 $\pi$ 变化。

伪随机码信号  $p(t)$  可以表示为

$$p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{P-1} \text{rect}\left(\frac{t - T_m/2 - iT_m - kT_r}{T_m}\right) \cdot C_i \quad (1)$$

式(1)中,  $T_r$  是伪随机码周期,  $T_m$  码元宽度,  $\text{rect}(t/T_m) = \begin{cases} 1 & |t| \leq T_m/2 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$  是调制脉冲信号,  $C_i = \{+1, -1\}$  是伪随机码序。

图2是通过Matlab仿真产生的BPSK调制的7级伪随机码波形图。从图2可以看出,BPSK伪随机信号与其采用的伪随机码信号变化一致。

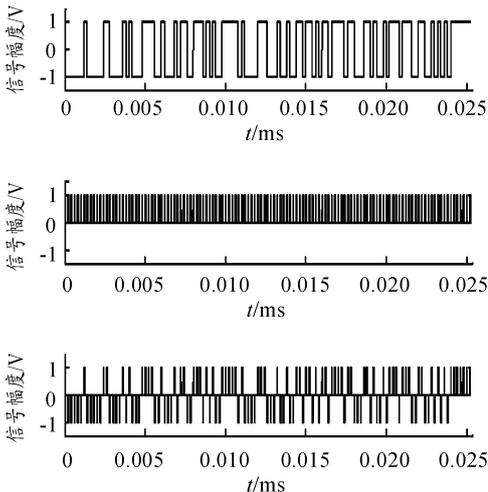


图2 7级BPSK伪随机码波形

伪随机码信号可以携带信息,但不能进行传播,因此需要把伪随机码信号调制到载波信号上才能发射。伪随机码调相信号表示为

$$U(t) = A \cdot p(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0) \quad (2)$$

式(2)中,  $A$  是发射信号的幅度,  $f_0$  是载波频率,  $\varphi_0$  是初始相位。图3是通过Matlab仿真产生的7级伪随机码调相信号。

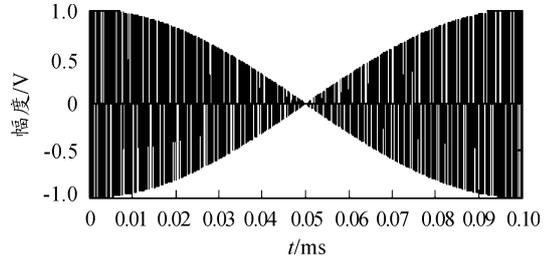


图3 7级伪随机码调相信号波形

### 1.3 参数的确定

伪随机码参数选择要从引信的距离特性、抗干扰能力、灵敏度以及设备的复杂性和实现性等方面综合考虑进行最优选择。影响伪随机码参数选取的主要因素是码元宽度和序列长度<sup>[5]</sup>。

1) 码元宽度。根据伪随机码的自相关函数可知,码元宽度越窄,引信的距离分辨力越强,精度越高。伪随机码的频谱宽度理论上是无穷大的,但是实际其能量的90%集中在第一个零值点之内,可以把0~ $\Delta f$ 之间的频谱看为伪随机码的频谱宽度,频谱宽度  $\Delta f$  为

$$\Delta f = \frac{1}{T_c} \quad (3)$$

从式(3)中可以看出,伪随机码的频谱宽度和码元宽度成反比。码元宽度越窄,频谱宽度越宽,信号的抗干扰能力越强,信号被截获的概率越低。但过窄的码元宽度会使射频信号失真,导致接收机灵敏度下降<sup>[6]</sup>。通常将码元宽度选择为10~100  $\mu\text{s}$ 。

2) 序列长度。伪随机码的序列长度  $P$  为

$$P = 2^n - 1 \quad (4)$$

式(4)中  $n$  是伪随机码的级数。

由伪随机码的自相关函数可知,序列长度越长,函数副瓣越小,抗干扰能力越出色。但是,序列长度过长会增加多普勒频率对相关函数的影响。另外,过长的序列会影响引信测速的计算时间。在实际工程中,伪随机码周期至少要达到多普勒信号周期的4倍<sup>[7]</sup>,即:

$$P < \frac{1}{4f_d T_c} \quad (5)$$

式(5)中  $f_d$  是多普勒频率。

因此文中的多级数符合工程需要,而不是任意可调。本文的级数采用5级、7级和9级3种级数。

## 2 模块设计

LabVIEW的设计具有结构化的特点,即一个程序可以分

成多个模块,每个模块实现一定的功能,模块之间相对独立。图4是系统的主程序图,主程序主要包含多级伪随机码生成模块和波形产生显示模块。

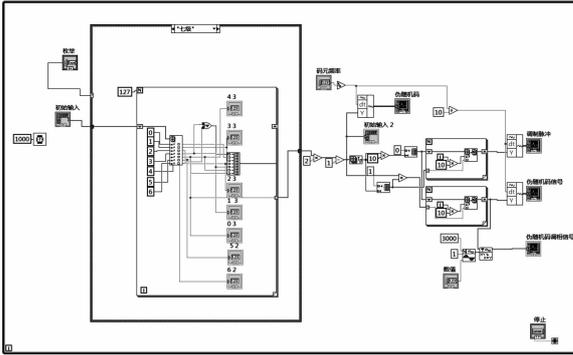


图4 系统主程序

### 2.1 多级伪随机码生成模块

该模块是整个系统的主要模块,它的功能是实现不同级数伪随机码数组的生成。在伪随机序列中,移位寄存器的反馈线的数目决定了本原多项式的项数,为了使m序列产生更加简单有效,简化程序结构,使用项数最少的本原多项式<sup>[8]</sup>。图5是一个7级移位寄存器序列产生结构图,它的本原多项式是: $x^7 + x^3 + 1$ ,即1010101,式(6)是它的反馈逻辑:

$$H_n = H_{n-3} \oplus H_{n-6} \tag{6}$$

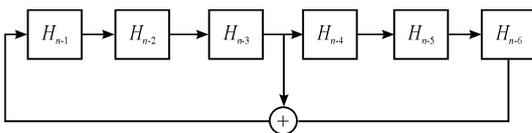


图5 7级移位寄存器序列产生结构

移位寄存器中的模2加法器由异或函数实现。图6是异或函数控件,当两端输入都为TRUE或都为FALSE,函数返回FALSE。否则,返回TRUE<sup>[9]</sup>。

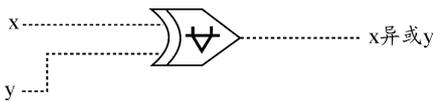


图6 异或函数控件

图7伪随机码序列产生流程图,索引数组对初始的一维伪随机码数组进行索引时,输入端元素的个数由移位寄存器的级数决定,其输出为与输入数组数据类型相同的数值元素。输出的元素创建新的数组,寄存器移位寄存后进行下一次的输出。因为产生的伪随机码是0-1序列,为了达到调相的效果,需要通过乘法器和加法器将移位寄存器输出的0-1序列转化成1-1序列。

为了实现各级数的选择,需创建条件结构。当条件结构执行时,仅有一个级数伪随机码生成子程序框图执行。控制输入数据类型为枚举类型,枚举控件和下拉列表控件十分相

似,它是有序的、自动分配的。建立枚举控件,在“编辑项”属性页面中设置添加“5级”、“7级”、“9级”。图8、图9和图10分别是5级、7级和9级移位寄存器的程序图。

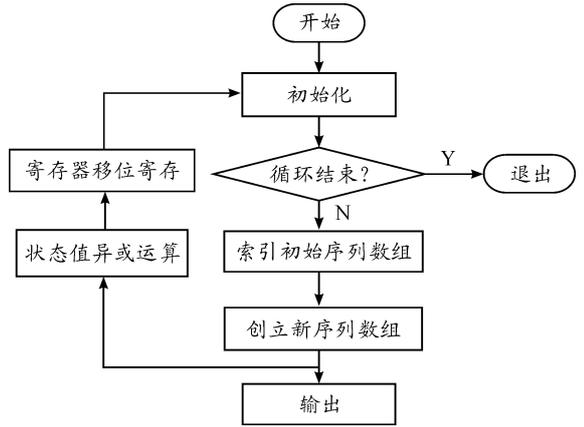


图7 伪随机码产生流程

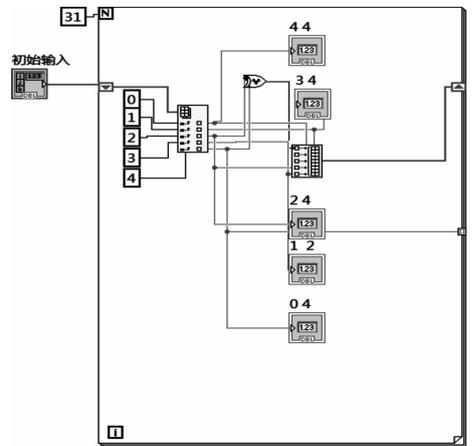


图8 5级移位寄存器程序

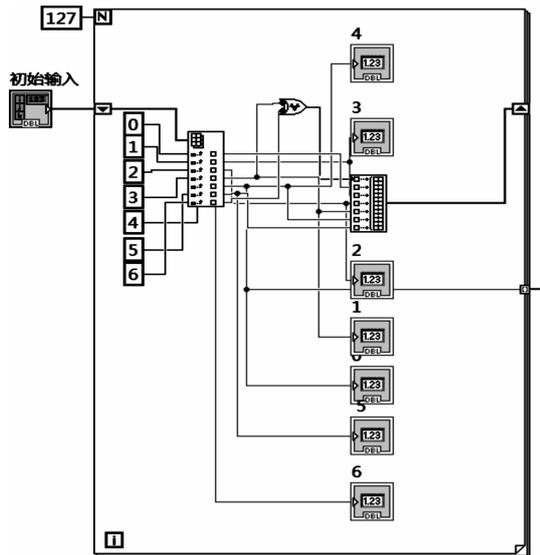


图9 7级移位寄存器程序

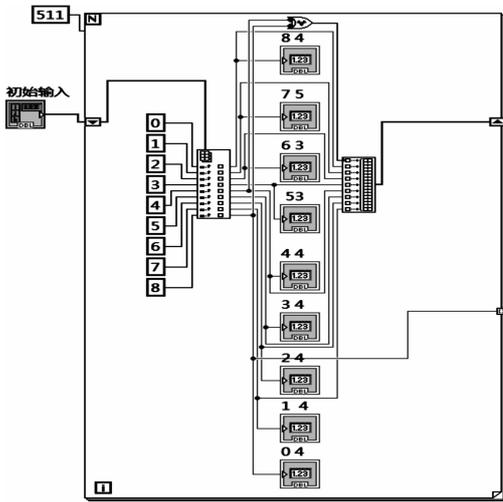


图 10 9 级移位寄存器程序

### 2.2 波形产生显示模块

该模块的功能是将伪随机码信号对载波信号进行调相处理。产生的 1-1 伪随机码序列经过数组初始化,通过 For 循环和“替换数组子集”控件索引指定位置元素开始替换数组,得到的一维数组数据输入到“创建波形”的 Y 输入端,然后将输出接入波形图即可显示伪随机信号。

伪随机码信号和载波信号作卷积运算得到伪随机码调相信号,信号卷积运算的表达式为

$$u(t) = x(t) * y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \cdot y(t - \tau) d\tau \quad (7)$$

图 11 是卷积控件, X 是第 1 个输入序列, Y 是第 2 个输入序列,算法指定使用的卷积方法,调用卷积控件。算法的值为 direct 时, VI 使用线性卷积的 direct 方法计算卷积<sup>[10-11]</sup>。由于信号分析要求循环进行,而整个过程都希望是人机交互的。因此,在后面板的程序设计中采用 While 循环结构。

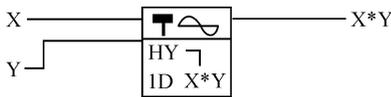


图 11 卷积控件

## 3 仿真结果

图 12 是系统的操作界面。用户通过前面板很方便设置码元宽度、移位寄存器级数和初始化输入等相关参数。以 7 级伪随机码调相信号为例,系统相关参数设置如下:级数 7 级,初始输入 0101010,码元宽度 50 μs,载波频率 10 MHz,载波幅度 1 V,采样数 5 000。图 13 是仿真产生 7 级伪随机码调相信号,从图 13 可以看出伪随机码调相信号是双极性视频脉冲,伪随机码调相信号和伪随机码的变化是一致的。伪随机码信号自身固有的抗干扰能力很强,将其应用到伪随机码调相信号中,使得引信的抗干扰能力获得极大提高。

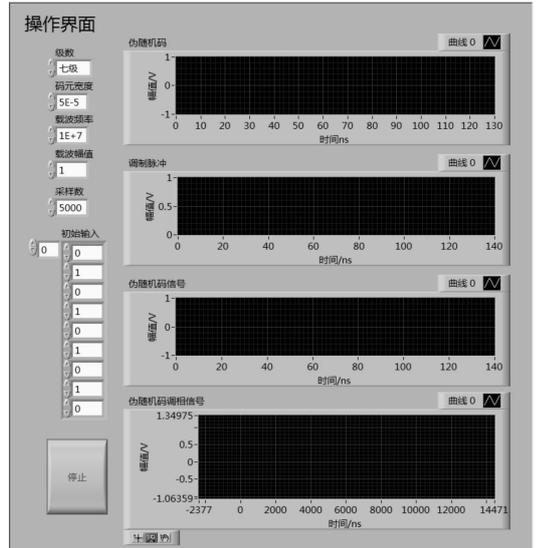


图 12 系统操作界面

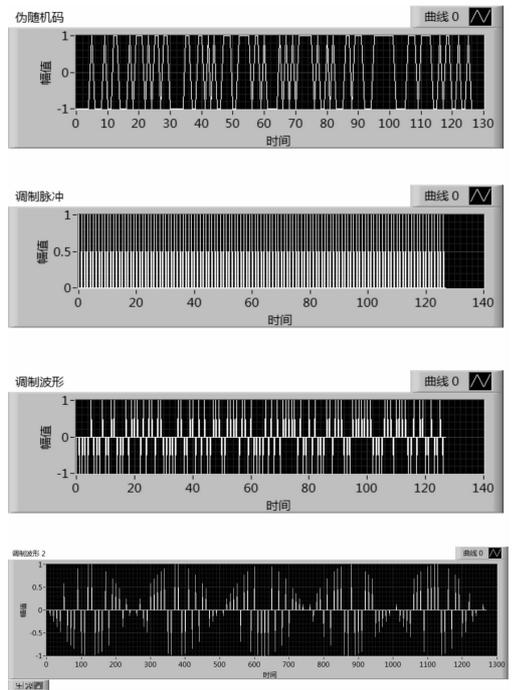


图 13 7 级伪随机码调相信号

## 4 结论

本文设计的基于 LabVIEW 的多级伪随机码调相信号仿真系统具有操作灵活、稳定性好、精度高等特点,降低了系统的开发、维护以及后期的升级成本,缩短了系统的开发周期。根据教学需要,设置伪随机码调相信号的相关参数,实时显示不同级数下的伪随机码波形,具有很好的演示效果。此外,不同参数的伪随机码可以配合验证伪随机码调相无线电引信的测速测距性能和抗噪声干扰能力。

(下转第 175 页)

## 4 结论

在不同空化数条件下,在大尺寸潜航体头部和空泡区域,利用 Singhal 模型、Zwart 模型和 Schnerr 模型获得的壁面压力一致性很好,而且与实验结果吻合;在空泡封闭端只有 Singhal 模型获计算结果与实验结果吻合较好;在空泡下游,不同空化模型计算结果与实验结果吻合程度也不相同。Singhal 模型、Zwart 模型和 Schnerr 模型可用于大尺寸潜航体绕体定常空泡流模拟计算,但 Singhal 模型更适合于计算大尺寸潜航体绕流压力场。

## 参考文献:

- [1] SINGHAL A K, LI H Y, ATHAVALE M M, et al. Mathematical Basis and Validation of the Full Cavitation Model [C]//ASME FEDSM'01. New Orleans, Louisiana, 2001.
- [2] ZWART P J, GERBER A G, BELAMRI T. A Two-Phase

Flow Model for Predicting Cavitation Dynamics [C]//Fifth International Conference on Multiphase Flow, Yokohama, Japan, 2004.

- [3] SCHNERR G H, SAUER J. Physical and Numerical Modeling of Unsteady Cavitation Dynamics [C]//Fourth International Conference on Multiphase Flow, New Orleans, USA, 2001.
- [4] ASHOK K. SINGHAL, MAHESH M. ATHAVALE, et al. Mathematical Basis and Validation of the Full Cavitation Model [J]. Journal of Fluids Engineering, 2002, 124: 617-624.
- [5] 边金尧,王敏杰,李玉龙,等.基于数值分析的潜航体壁面压力分布研究[J].船舶力学,2013,17(2):1-7.
- [6] 薛瑞,张森,许战军,等.对不同空化模型的比较研究[J].西北水电,2014(2):85-89.

(责任编辑 唐定国)

(上接第 159 页)

## 参考文献:

- [1] 崔占忠,宋世和,徐立新.近炸引信原理[M].北京:北京理工大学出版社,2009:132-135.
- [2] 路明,熊波,梁捷.中近程探测技术[M].烟台:海军航空工程学院,2016:95-100.
- [3] 曹军义,刘曙光.虚拟仪器技术的发展与展望[J].自动化与仪表,2013,18(1):1-5.
- [4] 林可祥,汪一飞.伪随机码的原理与应用[M].北京:人民邮电出版社,1978:141-144.
- [5] 尚浩强.伪码调相线性调频复合引信调制技术研究[D].南京:南京理工大学,2009:20-22.

- [6] 庄涛.伪码调相锯齿波线性调频复合引信信号处理技术[D].南京:南京理工大学,2009:31-34.
- [7] 徐元银.伪码调相脉冲多普勒复合探测信号处理技术研究[D].南京:南京理工大学,2009:25-27.
- [8] 荣鑫,苏新彦.基于LabVIEW的PN码调制解调模块实现[J].电子测试,2010,4(4):1-2.
- [9] 岂兴民,田京京,朱洪歧.LabVIEW入门与实践[M].北京:电子工业出版社,2016:364-365.
- [10] 李文略.线电荷在无限长矩形腔内激发的电势[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2016,33(3):22-27.
- [11] 陈树学,刘莹编.LabVIEW宝典[M].北京:电子工业出版社,2011:256-260.

(责任编辑 唐定国)