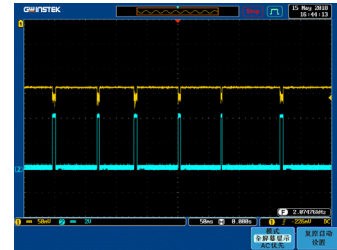




DOI: 10.12086/oe.2019.180475

伪随机序列激光制导信号产生与分析

都元松^{1,2*}, 罗威¹, 董睿杰¹, 董文锋¹¹空军预警学院, 湖北 武汉 430019;²中国人民解放军 93107 部队, 辽宁 沈阳 110000

摘要: 针对现有激光主动制导武器导引头易受欺骗式干扰的技术现状, 提出了采用伪随机序列编码提高其抗干扰性能的新构想。利用伪随机序列抗干扰性能较好的特点, 可以使激光主动探测目标系统既能实现远距离主动探测目标, 又能有效防止外界干扰, 提高系统性能的可靠性。本文结合 Arduino IDE、Arduino UNO R3 单片机、示波器与 YAG 激光器等实验仪器, 设计并实现了一种抗干扰性能良好的伪随机序列激光制导信号产生系统。该系统可以用于新型目标指示器的研究。

关键词: 激光制导; 抗干扰; 伪随机序列; 目标指示

中图分类号: TB872

文献标志码: A

引用格式: 都元松, 罗威, 董睿杰, 等. 伪随机序列激光制导信号产生与分析[J]. 光电工程, 2019, 46(9): 180475

Generation and analysis of pseudo-random sequence laser guidance signal

Du Yuansong^{1,2*}, Luo Wei¹, Dong Ruijie¹, Dong Wenfeng¹¹Air Force Early Warning Academy, Wuhan, Hubei 430019, China;²Unit 93107 of PLA, Shenyang, Liaoning 110000, China

Abstract: In view of the current state of the technology of the laser-guided weapon system that is vulnerable to fraudulent interference, a new idea using random sequence coding is proposed to improve its anti-jamming performance. By using the characteristics of better anti-interference performance of pseudo-random sequence, the laser active detection target system can not only achieve long-distance active target detection, but also effectively prevent external interference and improve the reliability of the system. The signal generation system is designed and implemented by combining Arduino IDE, Arduino UNO R3 microcontrollers, with oscilloscopes and YAG lasers, with good anti-interference performance. The system can be used for the study of new laser target indicators.

Keywords: laser guidance; anti-jamming; pseudo-random sequence; target indication

Citation: Du Y S, Luo W, Dong R J, et al. Generation and analysis of pseudo-random sequence laser guidance signal[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(9): 180475

1 引言

激光制导武器是对机场、导弹基地等重点目标实

施精确打击的重要手段, 具有作用距离远、命中精度高、杀伤威力大、效费比高等优点^[1-3]。激光目标指示

收稿日期: 2018-09-11; 收到修改稿日期: 2018-11-05

作者简介: 都元松(1993-), 男, 硕士, 主要从事电子对抗装备技术与应用的研究。E-mail: 1292298159@qq.com

器是制导炸弹上的重要组成部件，用于产生激光制导信号。简单规律性激光制导信号可以被截获识别，因而容易受到欺骗性干扰而导致不能命中。

美国为了对抗激光应答式干扰和激光转发式干扰，Martin Marietta 公司提出了一种新的编码技术，即为脉冲间隔调制编码^[4-5]。Lockheed Martin 公司提出了一项关于多波长多脉冲激光器技术，设计了一种单个光泵浦脉冲产生双波长双脉冲的固体激光器，可将其用于激光目标指示器，通过调制双激光脉冲的间隔实现激光编码^[6-7]。方艳艳等^[8]提出一种用于激光半主动制导炮弹的“队列法”脉冲间隔编码的方法，该方法兼有脉冲间隔编码和有限位随机周期脉冲序列的优点，并采用了波门技术，但该编码形式过于简单，敌方一旦了解波门设置，便极易破解。柴金华等^[9]提出激光末端制导三波长激光编码方案，通过改变末端制导武器系统三波长激光编码方案，提高激光末端制导抗干扰能力。程玉宝等^[10]提出一种基于 Walsh 矩阵的激光编码方案，该方法通过建立 Walsh 矩阵，来增强自身抗干扰效果，但此方法结构复杂，运算量大。

为解决上述问题，需要设计结构既简单且运算量小，又能实现抗干扰能力强、破解难度相对较大的激光目标指示器。因 m 序列码具有强抗干扰、难破解且易于实现的特性，被广泛应用于保密通信领域，本文将伪随机序列抗干扰的特性应用于激光制导武器中，由于真正的伪随机序列变化速度太快，且识别难度大、时间长，考虑到导引头的解码问题，为此本文设计出了一套类似于伪随机序列的激光制导信号产生系统，类伪随机序列相比于真正的伪随机序列降低了变化速

度与解码难度，但保留了伪随机序列编码特性与复杂度，可有效提高抗干扰能力，实现精准打击。

2 控制信号产生与分析

2.1 实验平台设计

实验平台由 Matlab 计算软件、Arduino IDE 单片机开发软件、模拟示波器和 Arduino UNO R3 单片机、固纬 GDS-2000 数字示波器等组成产生激光控制信号的模拟实验平台，图 1(a)为激光控制信号产生设计流程图。图 1(b)为激光控制信号模拟仿真实验平台，由 Arduino IDE 单片机开发软件、Arduino UNO R3 单片机以及模拟示波器组成，控制信号经编译送至 Arduino UNO R3 单片机，再经模拟示波器送至计算机，显示与设计相匹配的控制信号波形。图 1(c)为将模拟示波器更换为固纬 GDS-2000 数字示波器，验证控制信号的准确性。

2.2 控制信号设计产生

1) 模拟仿真分析

利用上述仪器实验设备，搭建的模拟实验平台如图 1(b)所示。将脉冲间隔固定设置为 80 ms，脉宽设置为 2 ms~8 ms 中任意随机整数，以此来模拟伪随机序列的随机性。仿真结果如图 2 所示。可以看出，得到的脉宽为 2 ms~8 ms 中任意随机数，脉间间隔为 80 ms 固定值。

2) 示波器显示分析

更换模拟示波器为数字示波器，如图 1(c)所示，由 Arduino IDE 编程产生的控制信号经 Arduino UNO

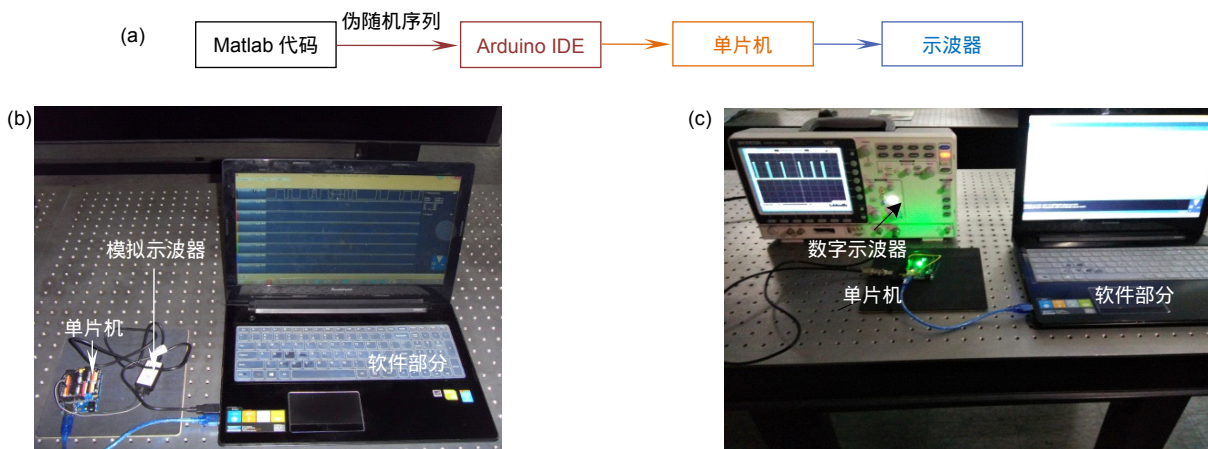


图 1 激光控制信号产生仿真设备连接实物图。(a) 激光控制信号产生流程图; (b) 模拟实验连接图; (c) 示波器显示实验连接图

Fig. 1 Laser control signal generation simulation equipment connection. (a) Laser control signal generation flow chart; (b) Simulate the experimental connection diagram; (c) Oscilloscope display experiment connection

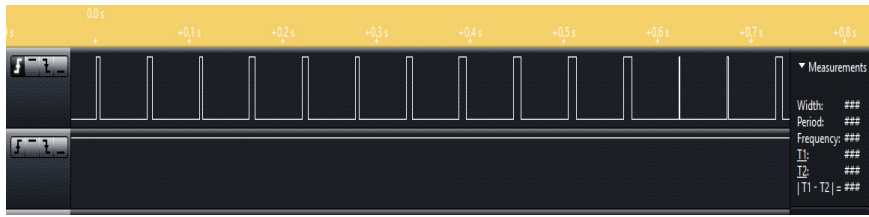


图 2 伪随机序列模拟仿真实验脉冲

Fig. 2 Random sequence simulation experiment pulse

R3 单片机,送至示波器产生相应的伪随机序列激光控制信号,通过调节示波器改变波形的水平刻度以及通道的垂直刻度,获得对应的波形图,所截取的部分波形图像,如图 3 所示。

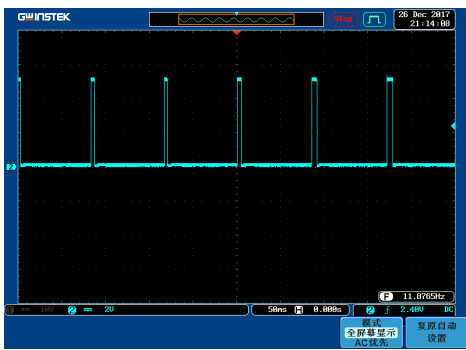


图 3 伪随机序列控制信号示波器波形

Fig. 3 Random sequence control signal oscilloscope waveform

伪随机周期编码激光控制信号中,伪随机序列脉冲的稳定性、准确性是影响激光制导武器作战效果的主要因素。

为设计新型目标指示器,使得产生的制导信号具备抗干扰能力,实际实验过程中,设计出三种不同样式的抗干扰信号。

- 1) 固定脉冲间隔,改变脉冲宽度的伪随机序列;
- 2) 固定脉冲宽度,改变脉冲间隔的伪随机序列;

3) 同时改变脉冲间隔与脉冲宽度的伪随机序列。

2.3 控制信号分析

第一类信号:

设置波形参数,固定脉冲间隔,改变脉冲宽度的伪随机序列,脉冲间隔 80 ms,脉冲宽度变化范围 2 ms~8 ms 之间,得到的一组伪随机序列激光控制信号整体效果图,如图 4 所示。对伪随机周期编码与脉宽编码的测量结果进行分析。

图 5 为激光控制信号产生图像,对控制信号脉冲间隔进行分析,由图像清晰地看出,示波器屏幕显示的水平刻度为 50 ms,测量激光器控制信号相邻脉冲的脉冲间隔约为 80 ms,即 $t_1=80$ ms,符合设计标准。

第二类信号:

固定脉冲宽度,改变脉冲间隔的伪随机序列,设置脉冲宽度为 5 ms,脉冲间隔变化范围 50 ms~100 ms 之间,得到一组完整的伪随机序列如图 6 所示。

图 7 为激光控制信号产生图像,对控制信号脉冲宽度进行分析,图 7 示波器显示其水平刻度为 1 ms,经读取数据可知,得到的控制信号脉冲宽度为 5 ms,即 $t_2=5$ ms,符合设计标准。

由图 8(a)、图 8(b)可以看出,其水平刻度分别为 20 ms、50 ms,通过读取示波器显示数据可知,其脉冲间隔均在 50 ms~100 ms 之间,符合最初设计标准。

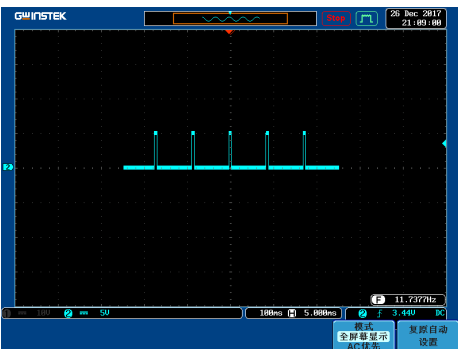


图 4 控制信号整体效果图

Fig. 4 Control the overall effect of the signal

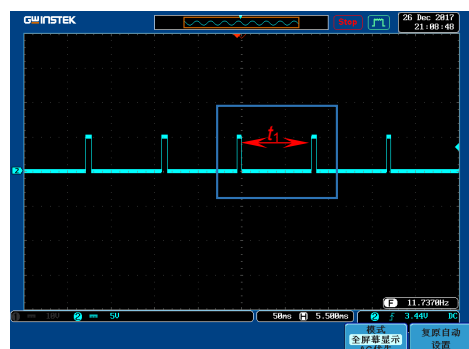


图 5 示波器屏幕显示

Fig. 5 Oscilloscope screen display

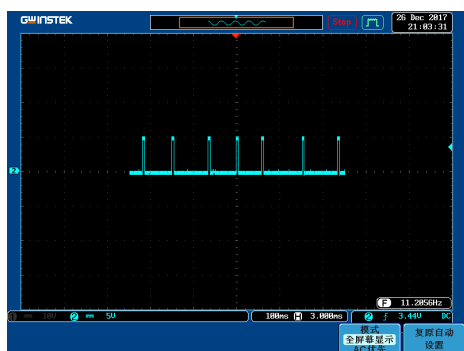


图 6 控制信号整体效果图

Fig. 6 Control the overall effect of the signal

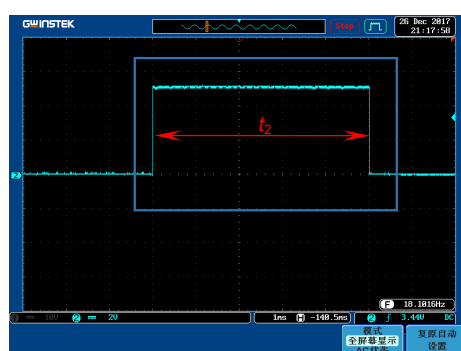


图 7 示波器屏幕显示

Fig. 7 Oscilloscope screen display

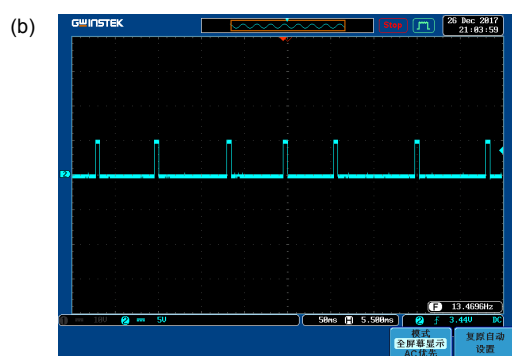
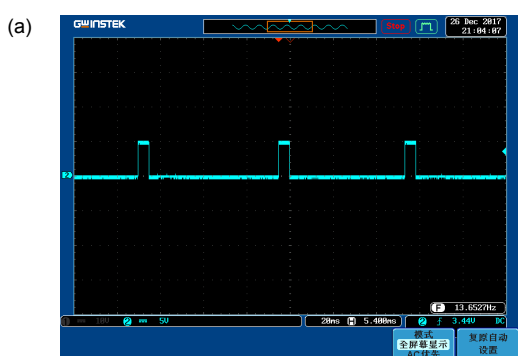


图 8 控制信号部分效果图。(a) 水平刻度 20 ms; (b) 水平刻度 50 ms

Fig. 8 Control signal part effect diagram. (a) Horizontal scale 20 ms; (b) Horizontal scale 50 ms

第三类信号：

同时改变脉冲间隔与脉冲宽度的伪随机序列，设置脉冲间隔变化范围 50 ms~100 ms 之间，脉冲宽度变化范围 2 ms~8 ms 之间，得到一组伪随机序列如图 9 所示。

由图 9(a)整体效果图可以清晰地看出，产生的伪随机序列其脉冲宽度与脉冲间隔均非定值；读取脉冲间隔数据均处于 50 ms~100 ms 之间，符合设计标准。

由图 9(b)、9(c)读取数据可知，其示波器显示水平刻度均为 1 ms，脉冲宽度分别为 2 ms、3 ms，即 $t_3=2$ ms、 $t_4=3$ ms，符合设计标准。

由上述实验可以得出结论，采用 Matlab、Arduino IDE 编程软件结合硬件设施 Arduino UNO R3 单片机，能够产生稳定的伪随机序列码，可以用于激光制导武器控制信号的产生。

3 激光制导信号产生与分析

3.1 实验平台设计

为将控制信号转变为激光制导信号，本文采用

Matlab 仿真软件、Arduino 编程软件、Arduino UNO R3 单片机、示波器、FIRDP-1064 型 YAG 激光器及 WKWR-1 型波形探测器，在实验室现有条件下，得到一种可用于激光制导武器的激光制导信号，具体实验流程图如图 10(a)所示。为检验理论模型的正确性，利用图 10(b)装置对理论模型进行实验验证。由于 FIRDP-1064 型 YAG 激光器产生的制导信号对于灵敏度较高的 WKWR-1 型波形探测器功率较大，将激光器的出光口与 WKWR-1 型波形探测器均对准漫反射目标相同位置(墙壁)，使得 WKWR-1 型波形探测器能接收到激光器漫反射光。此过程也可视作模拟激光经远距离传输并返回的过程。

3.2 激光制导信号分析

第一类制导信号：

根据实验平台设计方案，调节 WKWR-1 型波形探测器探测角度，通过探测激光制导信号经墙壁反射的漫反射光，来类比远距离传输激光回波信号。根据实验设计方案，产生一组激光制导信号，如图 11 所示。

根据 2.3 节第一类信号实验设计，通过调节示波

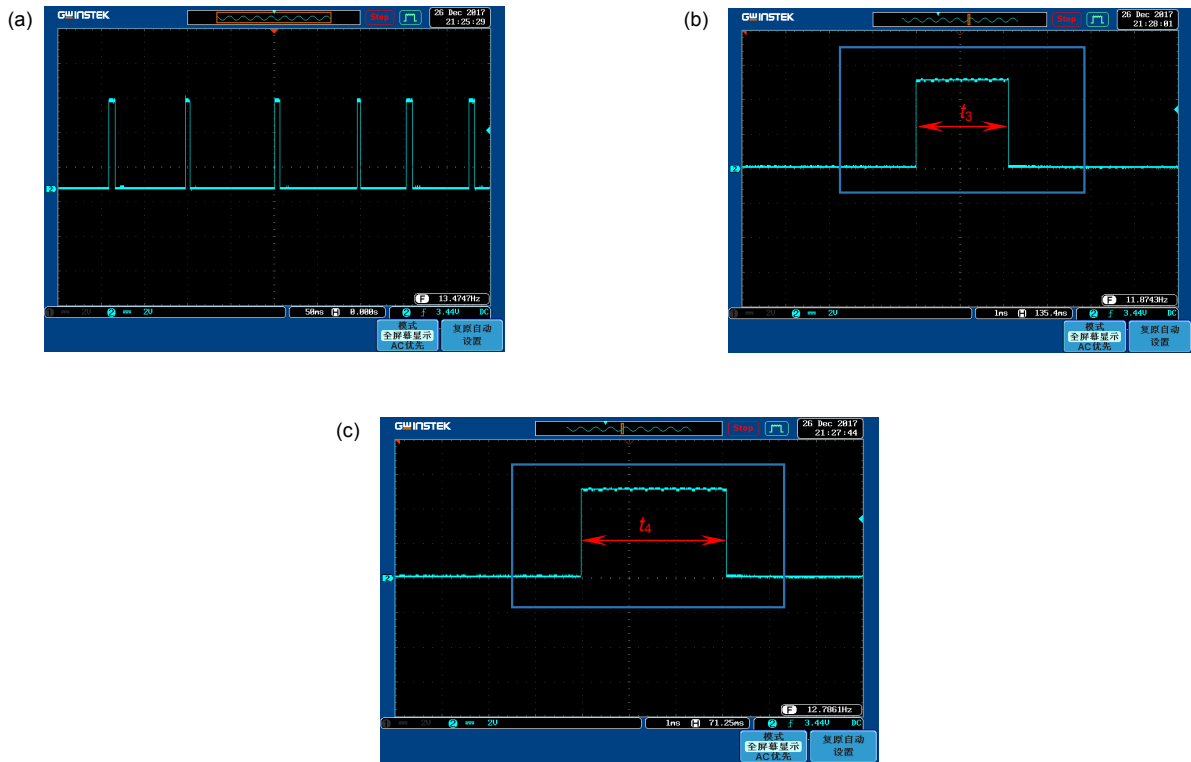


图 9 示波器屏幕显示。(a) 整体效果图; (b) 脉冲宽度 2 ms; (c) 脉冲宽度 3 ms
 Fig. 9 Oscilloscope screen display. (a) Overall rendering; (b) Pulse width 2 ms; (c) Pulse width 3 ms

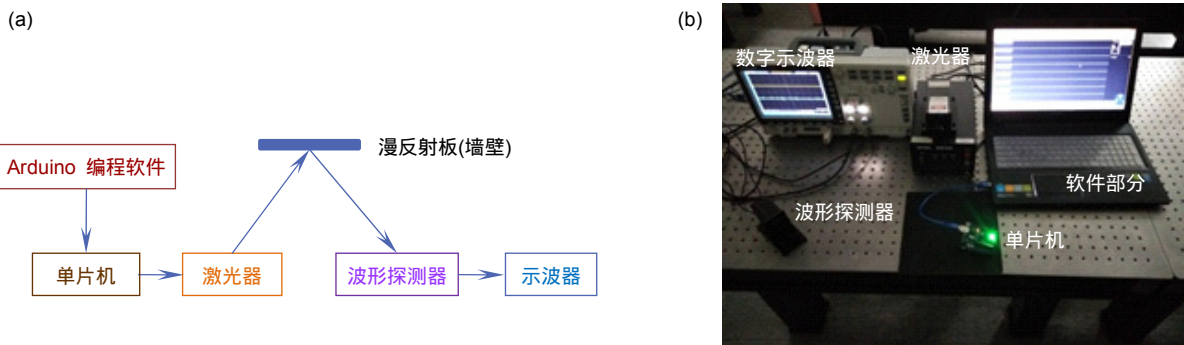


图 10 实验装置图。(a) 激光制导信号产生实验流程图; (b) 激光制导信号产生实验实物连接图
 Fig. 10 Experimental setup diagram. (a) Laser-guided signal generation flow chart; (b) Laser guidance signal to produce experimental physical connection diagram

器改变波形的水平刻度以及通道的垂直刻度, 截取所需要的波形图像, 分别得到一组激光制导信号整体效果图、单个脉冲信号波形图, 如图 12 所示。由示波器水平刻度显示可知, 图 12 示波器屏幕显示的水平刻度为 50 ms, 通过读取数据, 可知得到的激光制导信号脉冲间隔为 $t_5=80\text{ ms}$, 且 $t_5=t_1$, 可知与图 5 生成的控制信号完全吻合。满足第一类信号设计方案。

第二类制导信号:

根据第二类信号设计思路, 其目的是产生固定脉

冲宽度, 改变脉冲间隔的伪随机序列制导信号。通过改变示波器水平刻度, 得到与图 6、图 7 相对应的制导信号, 如图 13、图 14 所示。通过数据读取可知, 示波器显示水平刻度为 1 ms, 读取数据 $t_6=5\text{ ms}$, 且 $t_6=t_2$, 可知与 2.3 节图 7 设计的控制信号完全吻合。

图 15(a)、15(b)水平刻度分别为 20 ms、50 ms 下的数字示波器显示图, 与图 8 相对应。通过读取示波器显示数据, 其脉冲间隔均在 50 ms~100 ms 之间, 与 2.3 节第二类信号设计基本吻合, 符合设计要求。

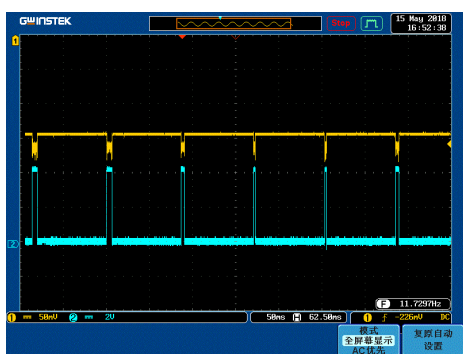


图 11 制导信号整体效果图

Fig. 11 Overall renderings of the guidance signal

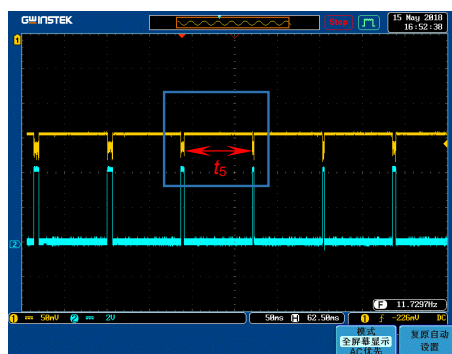


图 12 单个脉冲信号波形

Fig. 12 Single pulse signal waveform

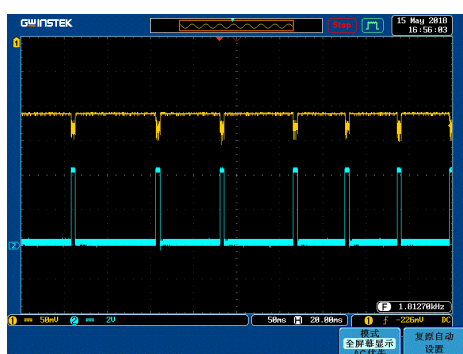


图 13 制导信号整体效果图

Fig. 13 Overall renderings of the guidance signal

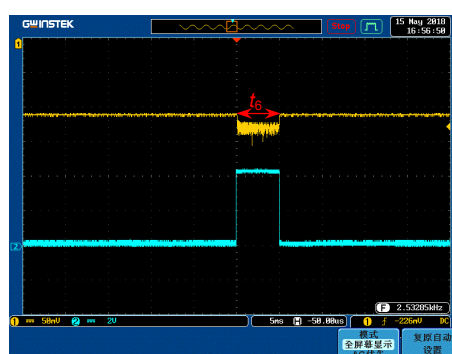


图 14 示波器屏幕显示

Fig. 14 Oscilloscope screen display

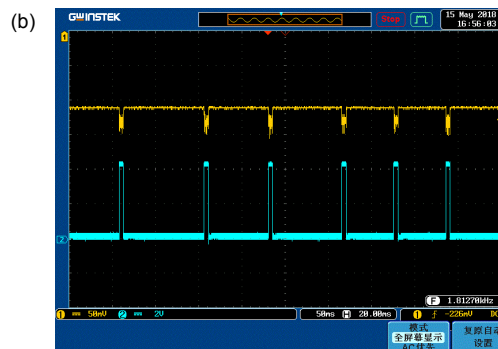
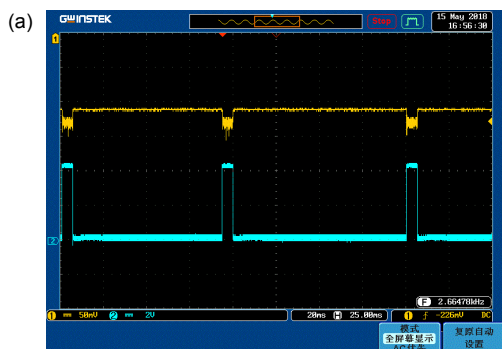


图 15 制导信号部分效果图。(a) 水平刻度 20 ms; (b) 水平刻度 50 ms

Fig. 15 Part renderings of the guidance signal. (a) Horizontal scale 20 ms; (b) Horizontal scale 50 ms

第三类制导信号：

根据第三类信号设置要求，设计产生同时改变脉冲间隔与脉冲宽度的伪随机序列激光制导信号，设置脉冲间隔变化范围 50 ms~100 ms 之间，脉冲宽度变化范围 2 ms~8 ms 之间，应用 3.1 节实验平台得到的制导信号如图 16 所示。

图 16(a)制导信号对应图 9(a)产生的控制信号，由图 16(a)可以看出产生的伪随机序列其脉冲宽度与脉冲间隔均非定值，读取脉冲间隔数据均处于 50 ms~100

ms 之间。

图 16(b)制导信号对应图 9(b)产生的控制信号，其示波器显示水平刻度为 1 ms，生成的脉冲宽度为 2 ms，即 $t_7=t_{3_0}$ 。

图 16(c)示波器显示水平刻度为 2 ms，生成的制导信号脉冲宽度为 $t_8=4$ ms，符合脉冲宽度变化范围 2 ms~8 ms 之间的设计标准。

以上分析可知，制导信号脉冲间隔、脉冲宽度与控制信号基本吻合，符合设计标准，达到了设计要求。

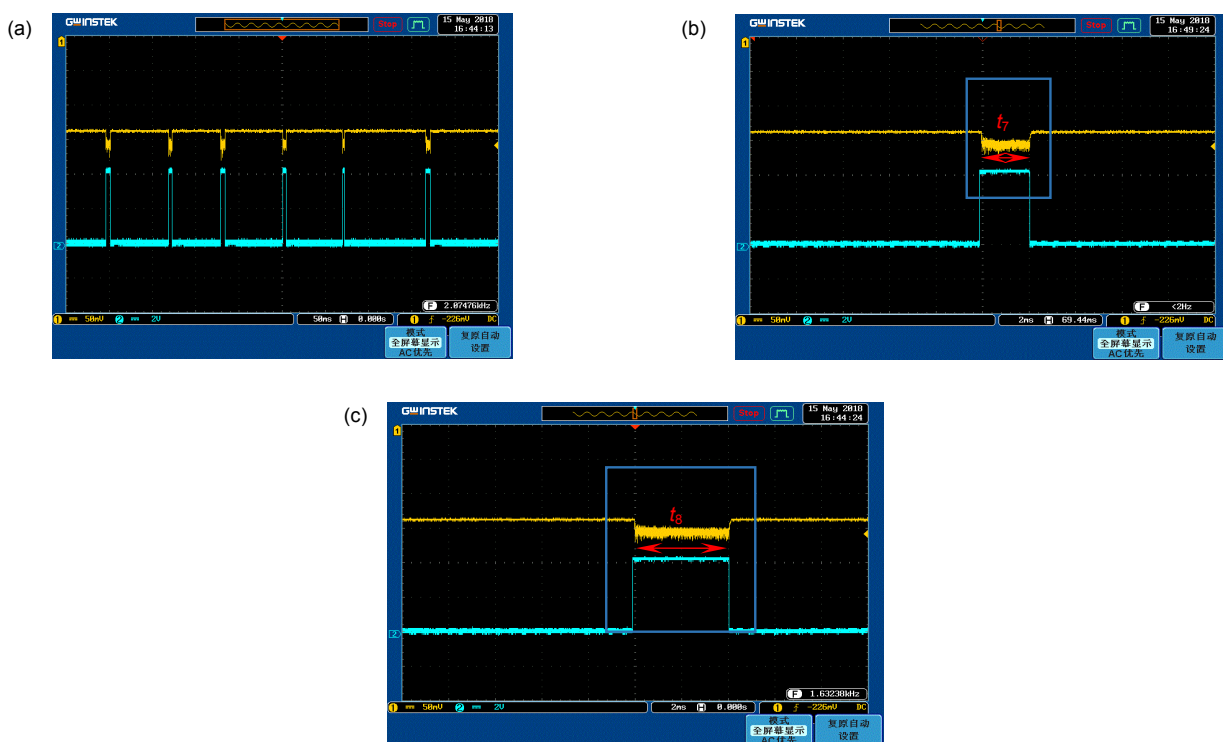


图 16 示波器屏幕显示。(a) 整体效果图; (b) 脉冲宽度 2 ms; (c) 脉冲宽度 4 ms
 Fig. 16 Oscilloscope screen display. (a) Overall rendering; (b) Pulse width 2 ms; (c) Pulse width 4 ms

4 总 结

本文设计并构建了一套基于类伪随机序列的激光制导信号产生系统,该系统能够快速产生伪随机序列激光制导信号。搭建了一套能够实现伪随机序列激光制导信号编码、产生的激光制导信号产生系统,并使 FIRDP-1064 型 YAG 激光器受控产生伪随机序列激光制导信号。使用 WKWR-1 型波形探测器对伪随机序列激光制导信号的脉冲波形进行了测量与分析。结果显示,利用伪随机序列激光制导信号生成系统,能够产生稳定的控制信号及激光制导信号,并且各项参数均达到设计要求。为激光制导研究领域提供了一种具有一定价值的设计方案,为激光制导武器抗干扰方式方法提出了一种新构想,同时也为新型目标指示器的研究提供了理论参考和依据。

参考文献

[1] Li Y X, Meng W, Ma L H, et al. *Optoelectronic Countermeasure Principle and Application*[M]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology Press, 2009: 10–11.
 李云霞, 蒙文, 马丽华, 等. 光电对抗原理与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2009: 10–11.

[2] Li Y X, Xu R F, Liu J H. Research on performance testing solution of laser beam riding guider[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2001, **30**(6): 474–477.

李云霞, 徐荣甫, 刘敬海. 激光驾束制导仪性能测试系统研究[J]. *红外与激光工程*, 2001, **30**(6): 474–477.

[3] Li Y X, Liu J H, Zhao S H, et al. The information field simulation technique of laser beam riding guidance[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(4): 395–397.
 李云霞, 刘敬海, 赵尚弘, 等. 激光驾束制导光场信息的模拟技术[J]. *光子学报*, 2003, **32**(4): 395–397.

[4] Bayston T E, Weidler R C Jr, Thompson A B Jr, et al. Method and system for pulse interval modulation: 5026156[P]. 1991-06-25.

[5] Bayston T E. Pulse code recognition method and system: 5023888[P]. 1991-06-11.

[6] Naiman C S, Pompian S D. Multi-color, multi-pulse Laser: 6078606[P]. 2000-06-20.

[7] Naiman C S, Pompian S D. Multi-color, multi-pulse laser: 6199794[P]. 2001-03-13.

[8] Fang Y Y, Chai J H. New kind scheme of laser code in the laser terminal guidance ammunition round[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, **34**(5): 535–539.
 方艳艳, 柴金华. 激光末制导炮弹武器系统新型激光编码方案[J]. *红外与激光工程*, 2005, **34**(5): 535–539.

[9] Chai J H, Liu Z B, Zhu Y W. Scheme of three-wavelength laser code in the laser terminal guidance[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, **37**(S): 396–398.
 柴金华, 柳志波, 朱一旺. 激光末端制导三波长激光编码方案[J]. *红外与激光工程*, 2008, **37**(S): 396–398.

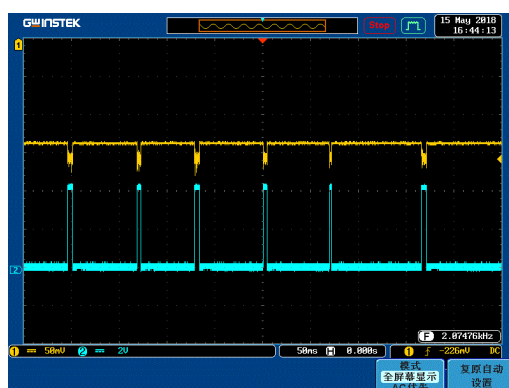
[10] Cheng Y B, Sun Z T. Walsh coding of laser beam for multi-target pointing[J]. *Electronics Optics & Control*, 2008, **15**(11): 88–91.
 程玉宝, 孙中涛. 多目标指示激光束的 Walsh 编码研究[J]. *光电与控制*, 2008, **15**(11): 88–91.

Generation and analysis of pseudo-random sequence laser guidance signal

Du Yuansong^{1,2*}, Luo Wei¹, Dong Ruijie¹, Dong Wenfeng¹

¹Air Force Early Warning Academy, Wuhan, Hubei 430019, China;

²Unit 93107 of PLA, Shenyang, Liaoning 110000, China



Overall rendering

Overview: In view of the current state of the technology of the laser-guided weapon system that is vulnerable to fraudulent interference, a new idea using random sequence coding is proposed to improve its anti-jamming performance. The purpose is to design a laser target indicator that is simple in structure, small in computation, and capable of achieving strong anti-interference ability and relatively difficult to crack. Because the pseudo-random sequence has strong anti-interference, difficult to crack and easy to implement, this paper applies the anti-interference characteristics of pseudo-random sequence to laser guided weapons. The laser active detection target system can not only achieve long-distance active target detection, but also effectively prevent external interference and improve the reliability of the system. The guidance signal is designed by using Matlab computing software. The signal is coded by changing the interval between pulse and pulse. Experimental platform is developed by Matlab software the Arduino IDE software, analogue oscilloscope and Arduino UNO R3 microcontroller, and GDS-2000 digital oscilloscope, etc, to produce simulated experiment platform to generate laser control signal. The simulated experiment verifies the generation of the pseudo-random sequence indication signal. Three kinds of target indication signals are designed. In order to generate a laser-guided signal of random-pseudo sequence in pulse widths and intervals, the control signal above-mentioned is applied to a FIRDP-1064 YAG laser which is measured by a WKWR-1 waveform detector. Under the laboratory conditions, a laser-guided signal that can be used for laser-guided weapons can be obtained. The experiment simulates the process of receiving diffuse reflection echo by laser guided weapon seeker, the laser guidance signal is pointed to the wall, and the detector receives diffuse reflection laser signal from the wall. After decoding, analysis and signal processing, it is determined that the received diffuse reflection laser echo is the indicator signal. By comparing the characteristics of the three types of target indication signals, it can be seen that the third type of target indication signal is a random signal similar to a pseudo-random sequence, which has the characteristics and complexity of pseudo-random sequence coding, and also reduces the speed of change and the difficulty of decoding. Combined with software and hardware, the signal generation system is designed and implemented by combining Arduino IDE, Arduino UNO R3 microcontrollers, with oscilloscopes and YAG lasers, with good anti-interference performance. The results show that the system is stable, and all parameters meet the design requirements. For laser guidance research, this study can provide a design solution for target indicators of laser-guided weapons to counter interference. The system can be used for the study of new laser target indicators.

Citation: Du Y S, Luo W, Dong R J, *et al.* Generation and analysis of pseudo-random sequence laser guidance signal[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(9): 180475

* E-mail: 1292298159@qq.com