

一种改进的激光伪随机码识别算法研究

赵开拓, 田忠, 田丹, 李浩

(电子科技大学电子科学技术研究院, 四川 成都 610054)

摘要:针对激光制导信号中的编码没有重复规律的伪随机编码,提出了一种基于传统辗转相减法的改进算法。该算法根据收到的相邻威胁脉冲时间间隔的最大公约数,找到其最小周期,并不断和接收到的信号相比较以纠正误差,并推导了算法停止的关键值 limit。通过 modelsim 进行了仿真验证,达到了预期解码识别的目的。在硬件上,基于 XILINX FPGA 实现,表明利用该算法可以接收较少的制导信号就能有效地识别出伪随机编码的最小周期,从而能以此为周期发出高频诱骗脉冲,达到准确诱骗的目的。

关键词:伪随机码识别;最大公约数;辗转相减法;FPGA 实现

中图分类号:TN919.3⁺¹ **文献标识码:**A

Research on an improved identifying algorithm of laser pseudo-random code

ZHAO Kai-tuo, TIAN Zhong, TIAN Dan, LI Hao

(Research Institute of Electronic Science and Technology of UESTC, Chengdu 610054, China)

Abstract: According to the pseudo-random code without repeating rule in the laser guidance signal, introduced a modified method to calculate the least period of the guidance signal based on the traditional continuous minus method. The algorithm found the least period based on the greatest common divisor of the received adjacent threaten pulse time space, and compared with the received signal continually to correct the error, and then deduced the key value which shows when to stop the algorithm. Used the modelsim to simulate the algorithm, and gain the expected decoding and identifying end. In the hardware, implemented based on the XILINX FPGA which indicates the algorithm can identify the least period of the pseudo-random code with receiving a small quantity of guidance signal, and then launches the high frequency spoofing pulse to cheat the enemy accurately.

Key words: pseudo-random code identify; greatest common divisor; continuous minus method; FPGA implementation

1 引言

激光制导武器使用伪随机码,在制导过程中编码可以不重复,导致传统的编码识别技术要想在短时间内识别出制导信号的编码方式是不可能的^[1]。

针对激光精确制导武器系统的干扰技术主要包括高重频激光有源干扰等^[2],在激光对抗过程中,由于作战时间短暂(一般 60 s 之内),不可能在获得大量的样本之后再解码^[3]。本文提出了一种改进的计算相邻脉冲间隔时间最大公约数的办法,求出

制导信号的最小周期。该方法可以在接收到有限的威胁脉冲后有效地发出高频脉冲干扰激光半制导武器。

2 伪随机序列发生器

m 序列,亦称为最大长度序列,是由具有反馈逻辑的线性移位寄存器产生的,其反馈逻辑由特征

作者简介:赵开拓(1985-),男,硕士,主要从事 FPGA,嵌入式方面的研究。E-mail:zhao_kaituo@yahoo.com.cn

收稿日期:2009-09-02;**修订日期:**2009-10-09

多项式决定^[4]。由于 m 序列容易产生、规律性强、有许多优良的性能,在扩频通信中最早获得广泛的应用。

在二进制移位寄存器发生器中,若 n 为级数,则所能产生的最大长度的码序列为 $(2^n - 1)$ 位。该种编码方式由于反馈的存在,使其重复周期大幅度扩展,可能在一次攻击过程中,不会出现重复,所以要想在极短的时间内找到编码规律(逻辑函数)是不可能的^[5]。

3 脉冲间隔最小周期识别

3.1 整体识别诱骗方案

利用高重复频率激光器直接向目标发射干扰激光信号,只要其重复频率足够高,保证在导引头波门开启期间有一干扰脉冲超前于制导信号进入,就可能实施干扰^[6]。作为识别系统来讲,激光伪随机码的位数是未知的,通过计算相邻脉冲间隔时间的最大公约数,求出伪随机序列的最小周期 m ,从而以 m 为周期发射高频诱骗脉冲,并赋予一定的提前量,从而在每个录取波门内达到诱骗的目的。

激光引导头探测器仅处理进入波门的第一个激光脉冲,其后录入波门的激光脉冲一概视为干扰脉冲。

由文献[1]可知:设接收 i (i 为正整数且大于 2) 个制导信号时可识别出最小周期的概率为 P_i ,同时设接收了 $(i-1)$ 个信号没有识别出最小周期而接收到 i 个信号识别出最小周期的概率为 P'_i ,那么有:

$$P_i = P_{i-1} + (1 - P_{i-1}) \cdot P'_i \quad (1)$$

只要接收到 8 个信号,伪随机码的识别概率就超过了 98%。在收到 8 个脉冲预测出最小周期后,与实际脉冲相比较,看两者之间的差值是否满足:

$$|\text{Frst} - \text{Real}| < \text{Parameter} \quad (2)$$

式中,Frst 代表 forecast 预测脉冲输出时刻;Real 代表实际脉冲输出时刻;Parameter 代表设定的参数。如果大于 Parmeter,则与收到的激光脉冲相比较,不断纠正误差。

设接收到第一个制导信号的时间为 t_1 ,依此类推为 t_2, t_3, \dots, t_n ,则相邻脉冲之间的时间间隔为 Δt_i 为:

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \quad (3)$$

假设 Δ_{i1} 和 Δ_{i2} 的最大公约数是 gcd_1 ,则:

$$\text{gcd}_1 = \text{gcd}(\Delta_{i1}, \Delta_{i2}) \quad (4)$$

式中, gcd 表示求最大公约数,再将 gcd_1 和第三个脉冲间隔时间 Δ_{i3} 求其最大公约数 gcd_2 ,即:

$$\text{gcd}_2 = \text{gcd}(\text{gcd}_1, \Delta_{i3}) \quad (5)$$

依此类推,最后找出的最大公约数 gcd_n 即为伪随机码的最小周期。

3.2 改进的识别算法

求最大公约数有很多种算法可以实现,传统的算法多用辗转相除法,用于计算两个整数 a, b 的最大公约数。其计算原理为:

$$\text{gcd}(a, b) = \text{gcd}(b, a \bmod b) \quad (6)$$

式中, $a \bmod b$ 表示 a 对 b 求余所得的结果。因此算法需连续多次作除法运算,故形象地命名为“辗转相除法”^[7]。

由于 ISE 的综合器还不能对除法运算进行综合^[8],这里使用改进的辗转相减法将相邻脉冲间隔求最大公约数,传统的辗转相减法,输入脉冲时刻的误差会随着减的次数增加而变大,所以不能在循环相减到被减数和减数相等的时候停止算法,而应该设置一个门限值 limit。假设两个脉冲到达时刻为 $nT + \Delta_i$ 和 $mT + \Delta_j$,其中 T 为时钟周期, Δ_i 和 Δ_j 为两个脉冲的误差,大约为十分之一录取波门宽度,这主要是由于脉冲抖动所造成的,那么:

$$\Delta T = nT + \Delta_i - (mT + \Delta_j) = (n - m)T + (\Delta_i - \Delta_j) \quad (7)$$

此式表示两个脉冲的时间间隔。假设利用辗转相减法将相邻两个脉冲到达时间间隔相减 x 次,则经过 x 次辗转相减后误差积累 error 为:

$$\text{error} = j\Delta_j - (\Delta_i - i\Delta_j) = (i + j)\Delta_j - \Delta_i \quad (8)$$

$$x = i + j \quad (9)$$

式中, i 表示辗转相减所得差值小于两个相减值中较小值的次数; j 表示辗转相减所得差值大于两个相减值中较小值的次数。

应用本方法时,应该给出一个 limit 来限制误差值 error 的大小,当 error 超过了 limit 值时,就要停止算法。limit 值越大,运算量越小,准确率越低,在战场环境下对时间的要求很高,一次攻击的时间很快。因此,采用接收到 8 个脉冲就预测一次最小周期并不断和接受到的威胁脉冲比较是有必要的,当 limit 如表 1 所示五个具有代表性的设定数据时得出识别概率 P 如下:

$$P = \frac{\text{当前 limit 值预测成功的次数}}{\text{当前 limit 值一共测试的次数}} \quad (10)$$

表 1 预测概率的比较

Tab.1 forecast probability with different limit

limit	P	无 limit 的原始算法 P
50	0.943	0.734
60	0.965	0.649
70	0.986	0.788
80	0.954	0.762
90	0.932	0.655

发现 limit 为 70 的时候,可以最准确地预测出激光脉冲的最小周期,并且比原来未设定 limit 值的算法大大提高了预测概率。算法流程图如图 1 所示。

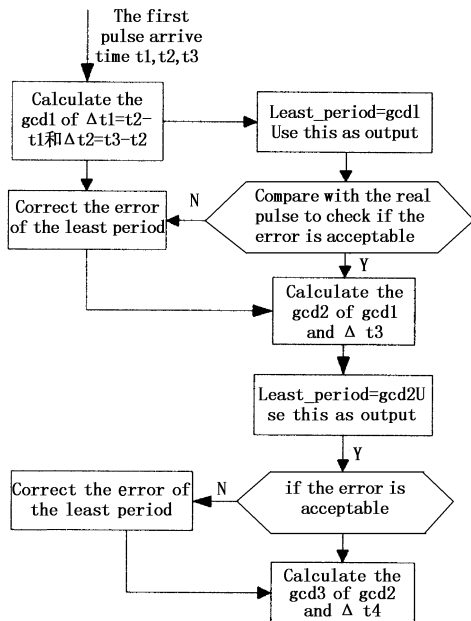


图 1 识别算法流程

Fig.1 Identify arithmetic flow

对于多路威胁脉冲,如果以最小周期预测发出的高频脉冲与实际到达威胁脉冲相差超过了允许的范围,可以转为以周期码预测。同时,当周期码预测失效时,再进入伪随机最小周期识别模块,这样可以全方位的识别威胁脉冲,增加判断的可靠性。

3.3 仿真验证

整个系统的完整仿真结果如图 2 所示,A 为脉冲输入时刻,B 为地址线,C1,C2 为截掉最后两位的脉冲时间信息,D 为算法开始标志位,E 为算法结束标志位,F 为算出的最大公约数,G 为最小周期输出标志位,H 为最后输出的最小周期。在地址线为 6,7,8 的时候输入的脉冲间隔时间分别为 15009 ns,24985 ns,4992 ns,最后算出的最小周期

为 4989 ns。

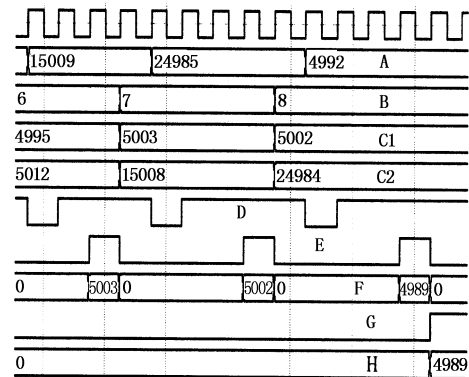


图 2 系统仿真结果

Fig.2 system emulation outcome

通过验证表明,收到 8 个脉冲到达时刻,就可以迅速而准确地算出伪随机序列的最小周期,对传统的求最大公约数的算法改进后,在一定误差范围内也可以正确的进行运算,从而能以最小周期为间隔并赋予一定的提前量发出高频脉冲进行诱偏。

4 伪随机信号识别的 FPGA 实现

采用 Xilinx 的 Virtex 系列的 XC4VLX40 芯片进行最小周期的识别算法处理,用在线逻辑分析仪 ChipScope Pro 可以将逻辑分析仪、总线分析器和虚拟 I/O 等逻辑直接插入设计中,可查看任何内部信号^[9]。

Chipscope 抽取的信号波形如图 3 所示。系统时钟为 100 M,所以一个时钟周期为 10 ns。Pulse_toa 为接收到的脉冲时间信息,infer_out 为接收到的脉冲时间信息加上最小周期后的预测脉冲时间信息。Interval 为脉冲间隔时间。least_period 为预测出来的最小周期:5000030 × 10 ns。

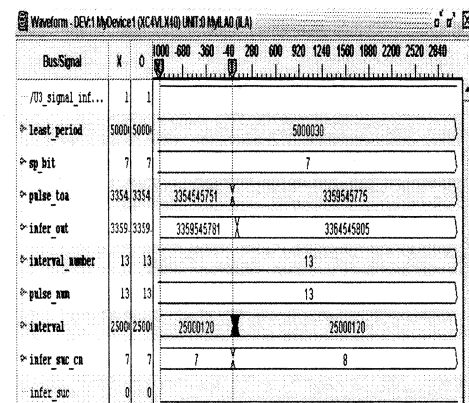


图 3 FPGA 内部信号抽取

Fig.3 signal extracted inside FPGA

5 结论

以往对于伪随机码的识别算法都停留在仿真验

证阶段,本文给出了 FPGA 实现的结果,证明了算法的硬件可实现性。根据收到的激光脉冲信号到达时间,求其脉冲间隔,采用改进的辗转相减法在一定的误差范围内可以大大减少运算量,缩短运算时间,计算出最小周期,从而准确的复制出威胁脉冲进行有效地诱骗。

参考文献:

- [1] Tong Zhong-cheng. The minimum period identify technology of laser pseudo-random code [J]. Laser and Infrared, 2007, 37(5): 415 - 420. (in Chinese)
童忠诚. 激光伪随机编码的最小周期识别技术研究 [J]. 激光与红外, 2007, 37(5): 415 - 420.
- [2] Fang Yan-yan, Chai Jin-hua. New kind scheme of laser code in the laser terminal guidance ammunition round [J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 34(5): 536 - 538. (in Chinese)
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): 536 - 538.
- [3] LI Jun-bo, YANG Tao. A method to decode laser-pulse series based on autocorrelation [J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2004, 2(4): 34 - 35. (in Chinese)
李君波, 杨涛. 基于自相关的激光解码解算 [J]. 光学与光电子技术, 2004, 2(4): 34 - 35.
- [4] Jiang Tao, Yue Xin, Sha De-liang. The application of pseudo-noise sequences in radar signal design [J]. Applied Science and Technology, 2002, 29(7): 17 - 18. (in Chinese)
姜涛, 岳欣, 沙德亮. 伪随机序列在雷达信号设计中的应用 [J]. 应用科技, 2002, 29(7): 17 - 18.
- [5] Tong Zhong-cheng. The comparison of code identify technology between laser seeker and laser warning equipment [C]., 2005: 228 - 233. (in Chinese)
童忠诚. 激光导引头与激光告警机编码识别技术比较. 光电技术与系统文选 [C]. 第十一届全国光电技术与系统学术会议: 北京: 电子工业出版社, 2005: 228 - 233.
- [6] Ju Yang-feng, Ma Ba-qiang, Yao Mei, et al. Encoding and jamming technology for laser guidance signal [J]. Electronics Optics & Control, 2007, 14(1): 85 - 87. (in Chinese)
巨养锋, 马宝强, 姚梅, 等. 激光制导信号的编码和干扰技术 [J]. 电光控制, 2007, 14(1): 85 - 87.
- [7] Bai Hai-dong, Zhu Li-min. The recursion realization of the greatest common divisor of many numbers with the continuous minus method [J]. Journal of Jixi University, 2005, 5(3): 39 - 40. (in Chinese)
白海东, 朱丽敏. 辗转相减法求多个数的最大公约数的递归实现 [J]. 鸡西大学学报, 2005, 5(3): 39 - 40.
- [8] Wang Shu-cheng, Wang Qi-hua. Realize 32 bit float multiplication and division using FPGA [C]., 2000: 815 - 817. (in Chinese)
王述成, 王其华. FPGA 实现 32 位乘除算法 [C]. 第四届海内外青年设计与制造科学会议论文集, 杭州: 中国机械工程学会, 2000: 815 - 817.
- [9] Tian Geng, Xu Wen-bo, Hu Bin. Xilinx ISE Design Suite 10. x FPGA Development Tutorial [M]., 2008: 159 - 175. (in Chinese)
田耕, 许文波, 胡彬. Xilinx ISE Design Suite 10. x FPGA 开发指南——逻辑设计篇 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008: 159 - 175.