

一种激光制导信号分选识别算法的研究

梁 璟^{1,2} 周 东²

(¹ 电子科技大学电子科学技术研究院, 四川 成都 610054; ² 电子科技大学通信与信息工程学院, 四川 成都 610054)

摘要 为了对制导武器实现有效的干扰, 必须进行码型的识别及预测。针对现有可查的激光制导武器, 通过对其编码技术的分析, 深入讨论了激光脉冲信号的分选技术和码型识别技术, 结合雷达信号的重频分选算法(PRI 算法), 提出了一种新的制导脉冲分选识别算法, 该算法融合了脉冲的分选及编码的识别流程, 并通过 Matlab 进行了仿真验证, 达到了预期解码识别的目的。基于 FPGA, 在硬件上对该干扰流程进行了实现, 提供了简单的可行性方案。

关键词 信号处理; 信号分选; 码型识别; 倍数检索法; 周期检索法

中图分类号 TN977 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200828s2.0053

An Arithmetic of De-Interleaving and Identifying of the Laser-Guided Weapon Signal

Liang Jing^{1,2} Zhou Dong²

¹ *Research Institute of Electronic Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China*

² *Communication and Information Engineering Institute, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China*

Abstract According to the coding technology of the laser guidance weapon, it is necessary to carry through code identifying and pulse forecast technology for effective laser jamming. The signal de-interleaving and code identifying were deeply discussed by analyses of the coding technology. Based on the PRI arithmetic of the radar signal, a new arithmetic of de-interleaving and identifying of the signal laser-guided was advanced, which included the process of de-interleaving and identifying of the signal. This arithmetic achieved the aim of code identifying, which has been validated by Matlab. A sample project of this interfere process was implemented on FPGA and the flow was mentioned in this paper.

Key words signal processing; de-interleaving of the signal laser-guided; code identifying; multiple search; period search

1 引 言

随着激光与光电子技术在军事上的应用日益广泛, 具有极高制导精度和命中率的激光制导武器显示出强大的威力。为了确保军事平台的安全, 激光干扰设备的研制已成为各国开发的热点。激光引导头的抗干扰措施主要有如下几种手段: 编码技术、波门技术、首脉冲技术、自适应波门技术和目标记忆跟踪技术等^[1,2]。激光干扰设备需要具备脉冲检索、编码识别、时间预估、脉冲提前等手段才可进行有效干扰, 其中时间预估、脉冲提前等技术手段需要建立

在准确的编码识别的基础上。本文重点针对干扰设备中的关键技术: 脉冲分选以及信号识别展开研究和分析, 提出了制导脉冲分选方法并优化了现有的信号识别方案^[3]。

2 激光制导码型识别

2.1 激光编码原理

激光制导信号的编码方式主要有以下三种^[4~6]。

2.1.1 周期性随机码

该码型脉冲间隔是变化的, 其脉冲序列具有一

定的周期性,位数由过去的 4 位码到现在的 2~8 位码,图 1 为 4 位码。

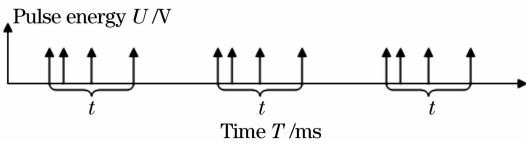


图 1 变频周期码

Fig. 1 Period-frequency conversion code

2.1.2 脉冲间隔编码

脉冲间隔编码又称精确频率码或者 PCM 码,这种码的生成机制是在一固定位数的循环移位寄存器内设置好码型,然后在一固定的时钟驱动下循环移位。码型如图 2 所示。

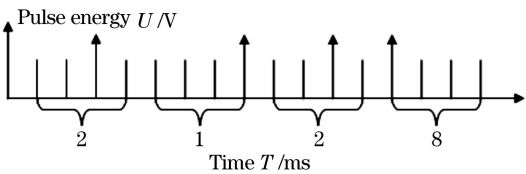


图 2 脉冲间隔码

Fig. 2 Pulse-interval code

2.1.3 伪随机码

伪随机码的生成是基于脉冲间隔编码,由于反馈函数的存在,使其编码周期大幅度扩展,产生机制如图 3 所示。

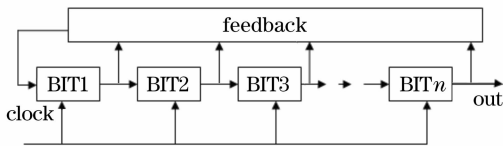


图 3 伪随机码

Fig. 3 Pseudo-random code

2.2 激光制导分选原理

在复杂的战场环境下,同一个激光干扰设备存在着同时截获到多个制导武器所发出的制导脉冲信号,因此,激光制导脉冲的分选也是必不可少的,否则码型识别过程会出现严重干扰。对于激光制导信号的分选,多数研究停留在空间(方位)分选、波长分选和脉宽分选上,但这些分选方法无法区分同一窗口截获同种脉宽及波长的混叠脉冲信号^[7,8]。

对于这种情况,必须进行时间上的分选,对所截获脉冲进行分类。现今脉冲信号的分选方法,多数体现在雷达信号的分选,其分选手段主要利用了所

截获的脉冲所具备的重频特性,从而产生了重频检索法(PRI 检索法)^[9,10],以及 CDIF 及 SDIF 分选法。但这几种分选方法无法适用于制导武器中的变频周期码及伪随机码,因此,在重频检索法的基础上,本文提出利用周期分选法及倍数分选法相结合的方式^[11]。

总结得到制导码型特征如表 1 所示。

表 1 制导码型特性

Table 1 Identity of guidance code

Code identity	Repeatedly frequency	Period
Period-frequency conversion code	N	Y
Pulse-interval code	Y	Y
Pseudo-random code	Min period	N

由表 1 可知,变频周期码和脉冲间隔编码具有较强的周期性,而伪随机码和脉冲间隔编码同样具有较为严格的重频特性。因此,分别通过可以检测出周期特性的周期检索法及可以检测出具有重频特性的倍数分选法进行有效的分选,这两种分选算法流程如下。

2.2.1 周期分选法

截获的脉冲序列 T_r 为

$$T_r = [T_1, T_2, T_3, T_4, \dots], \quad (1)$$

出于脉冲序列的周期特性,自身具有周期特性的脉冲序列具有非常强的周期相关性,通过

$$T_i - T_j = T_k - T_l \quad (1 < l < k < j < i), \quad (2)$$

得到预判而得的 $P_j = T_i - T_j$,通过预测 $T_m = P_j +$

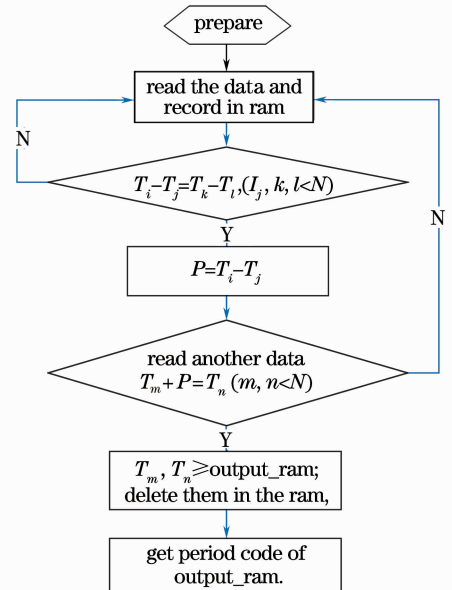


图 4 周期分选法

Fig. 4 Period search

T_i , 存在点位 T_m , 可得

$$T_d = (T_i, 2T_i - T_j), \quad (1 < j < i < n) \quad (3)$$

即可分选出所需周期脉冲。分选得到周期脉冲为

$$T_d = \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_n \end{matrix} \begin{bmatrix} t_1 & t_2 & \dots & t_n \\ t'_1 & t'_2 & \dots & t'_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t''_1 & \dots & \dots & t''_n \end{bmatrix}, \quad (4)$$

其分选流程如图 4 所示。

2.2.2 倍数分选法

倍数分选法的依据是基于码型特性中所固有的重频特性, 根据重频特性, 通过录入脉冲进行求解最小周期

$$p_{\min} = \text{gcd}(T_i, T_j, T_k, T_l, T_m, T_n, \dots), \quad (5)$$

对于最小周期识别算法, 在接收到 8 个脉冲以后该最小周期识别概率高于 98%^[12], 之后通过倍数检索的方式可以分选得到脉冲序列如图 5 所示。

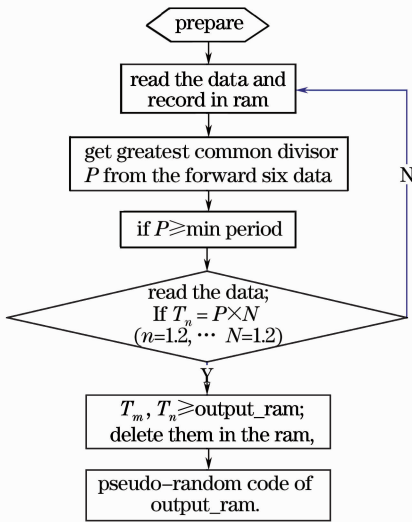


图 5 倍数分选法

Fig. 5 Multiple search

2.3 激光制导码型识别原理

由于三种码型之间存在关联性, 其识别可归结为:

1) 变频周期码及精确频率码

由于二者具有严格的周期性, 通过

$$T_i - T_j = T_k - T_l, \quad (1 < l < k < j < i) \quad (6)$$

对已分选出来的脉冲序列进行识别解码。

2) 伪随机码及精确频率码

国内外对伪随机码的识别, 尚未有较好的方案, 现今的解决方案都是通过查找其最小周期^[12]的方法进行准同步干扰。而最小周期的识别, 可以利用更为简单和高效的方案实现: 通过设置足够的空间

进行存储脉冲数据, 比较相邻脉冲间隔的最大公约数, 通过不断地查找和排除的方法找到最小的最大公约数, 可得到所需要的最小周期。

3 激光编码分选识别算法及 Matlab 仿真验证

周期检索法可以检索出含有明确周期性的码型即变频周期码和脉冲间隔码, 倍数分选法可以分选出脉冲间隔码以及伪随机码。且脉冲间隔编码的识别可以置于变频周期码或者伪随机码的识别之中。由此, 利用三种码型所具备的特性, 可以将整个分选识别流程综合起来, 如图 6 所示。

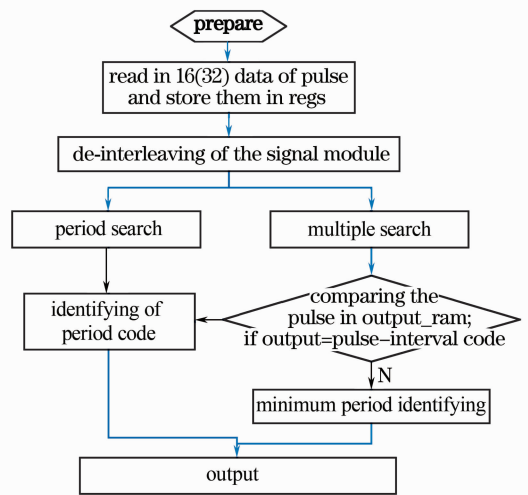


图 6 解码算法流程

Fig. 6 Arithmetic process of decode

现提取两组不同的脉冲数据包进行验证。

1) 一路随机码和一路脉冲间隔码的分选识别: 输入脉冲(单位 ms): [100, 153, 200, 247, 300, 356, 400, 463, 500, 557, 600, 666, 700, 773, 800, 867], 其分选验证如图 7 所示。

2) 一路脉冲间隔码和一路伪随机码的分选识别: 输入脉冲(单位 ms)。[110, 183, 210, 263, 310, 343, 410, 423, 510, 583, 610, 663, 710, 743, 810, 823], 其分选验证如图 8 所示。

由图 7, 图 8 得到: 经过算法流程验证, 该算法完全可以对混叠的制导脉冲进行分选识别以及准确预测。同时, 该算法的信号处理过程所消耗时间在 1 ms 以下, 符合战场环境时效性的需要, 因此, 该算法可以为现有的激光有源准同步干扰提供更加有效的解码技术。

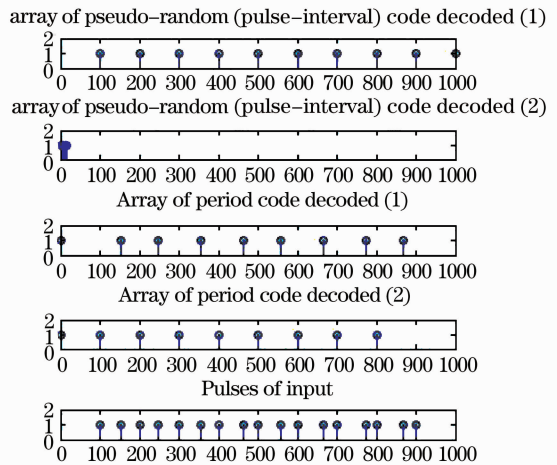
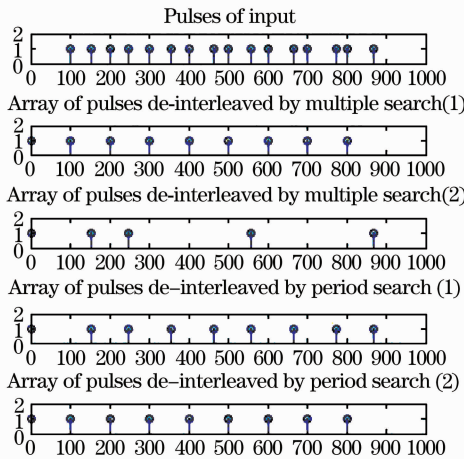


图 7 分选验证(1)

Fig. 7 De-interleaving validate (1)

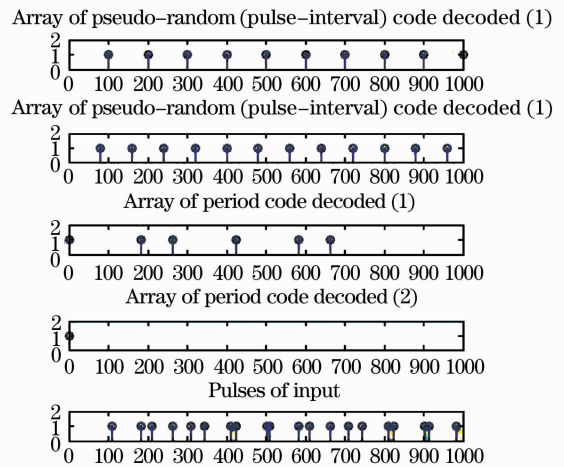
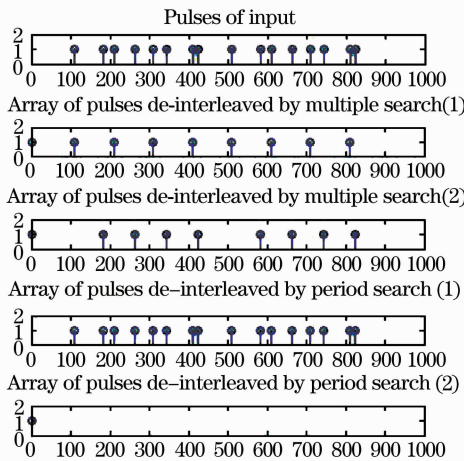


图 8 分选验证(2)

Fig. 8 De-interleaving validate (2)

4 激光编码分选识别 FPGA 实现方案

对于激光干扰设备的研制,基于 FPGA 等硬件平台的实现可依据图 9 所示的流程^[8,13]。

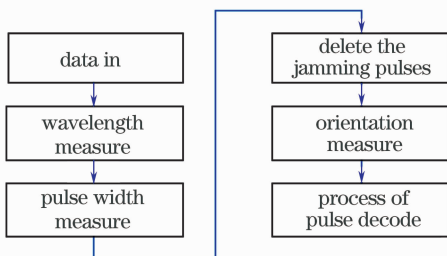


图 9 FPGA 解决方案

Fig. 9 Settle precept based on FPGA

如图 9 所示,激光干扰设备在接收到激光脉冲以后,经过波长、脉宽检测,完成干扰脉冲的剔除,然后继续利用波长、脉宽、方位的信息,进行初步的分

选,之后利用在 FPGA 环境下其强大的并行处理能力,将所分选出来的脉冲信息分别置入不同的信号分选识别模块,调用分选识别算法,进行同步处理,以达到在战场环境下尽可能缩短信号处理时间的目的,完成对多路不同威胁源的脉冲分选及识别。

5 结 论

虽然激光制导武器的抗干扰能力在不断地改进,但是经过对其制导原理的分析及激光脉冲码型的研究,势必会不断更新激光干扰设备的干扰手段,丰富和优化现有的分选及识别算法,通过利用 FPGA, DSP 等高速的硬件处理手段,可以非常有效地缩短信号处理时间,以便完成准确的译码,达到干扰的目的,从而削弱制导武器的威胁。

参 考 文 献

- 1 Xue Jianguo, Chen Yong. Research on the jamming effect of the high repetition laser to the laser guidance[J]. *Aero Weaponry*, 2006, (3): 30~32
薛建国,陈 勇. 高重频激光对激光导引头的干扰研究[J]. *航空兵器*, 2006, (3): 30~32
- 2 Jiang Yaoting, Pan Lina. Active laser interference and its present development[J]. *Laser Technology*, 2004, **28**(4): 438~441
蒋耀庭,潘丽娜. 激光有源干扰及其发展现状[J]. *激光技术*, 2004, **28**(4): 438~441
- 3 Liu Yunjiang, Li Man. The study of precision guided weapon countermeasures technology [J]. *Guidance & Fuze*, 2003, **24**(1): 22~25
刘芸江,李 曼. 抗精确制导武器技术研究[J]. *制导与引信*, 2003, **24**(1): 22~25
- 4 An Huahai, Yan Xiusheng, Deng Rongshan. Code analyse and identify technology for laser guidance signal[J]. *Electro-Optics and Passive Countermeasures*, 1996, (1): 26~30
安化海,闫秀生,郑荣山. 激光制导信号的编码分析及识别处理技术[J]. *光电对抗与无源干扰*, 1996, (1): 26~30
- 5 Tong Zhongcheng. The comparison of code identify technology between laser seeker and laser warning equipment[C]. Beijing: China Academic Journal Electronic Publishing House, 2005. 228~233
童忠诚. 激光导引头与激光告警机编码识别技术比较[C]. *光电技术与系统文选, 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 Yangfeng, Ma Baoqiang, Yao Mei *et al.*. Encoding and jamming technology for laser guidance signal [J]. *Electro-Control*, 2007, **14**(1): 85~87
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 Shui Xinheng, Hu Shaohua, Zeng Qinghai. Brief analysis of signal selection in multi-threat sources intelligence reconnaissance [J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2004, **19**(3): 41~44
水心恒,胡绍华,曾庆海. 多激光威胁源情报侦察中的信号分选问题浅析[J]. *光电技术应用*, 2004, **19**(3): 41~44
- 8 Li Junbo, Yang Tao. A method to decode laser-pulse series based on autocorrelation [J]. *Optics and Optoelectronic Technology*, 2006, **2**(4): 34~36
李君波,杨 涛. 基于自相关的激光编码解算[J]. *光学与光电技术*, 2006, **2**(4): 34~36
- 9 Ye Qing, Yao Longhai, Chen Changjun. De-interleaving of multi-threat sources and identifying of the code based on DSP[J]. *Electronic Technology Application*, 2006, (11): 58~60
叶 庆,姚龙海,陈长俊. 基于DSP的多激光威胁信号分选和码型识别[J]. *电子技术应用*, 2006, (11): 58~60
- 10 Wu Yongguang, Wu Yong. A circuit of radar signal de-interleaving based on DSP and FPGA [J]. *Science Technology and Engineering*, 2007, **7**(4): 464~467
伍永光,吴 勇. 一种基于DSP和FPGA的雷达信号分选电路设计[J]. *科学技术与工程*, 2007, **7**(4): 464~467
- 11 Wei Juan. Study of signal sorting technology in the high pulse-density environment [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2005. 12~15
魏 娟. 密集信号环境下的分选技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2005. 12~15
- 12 Tong Zhongcheng, Zhu Cheng, Sun Xiaojun. The minimum period identify technology of laser pseudo-random code[J]. *Laser & Infrared*, 2007, **37**(5): 415~420
童忠诚,朱 诚,孙晓军. 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
- 13 Fang Yanyan, Chai Jinhua. New kind scheme of laser code in the laser terminal guidance ammunition round [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, **34**(5): 534~539
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): 534~539