

文章编号:1001-5078(2008)12-1199-05

· 激光技术与应用 ·

激光半主动寻的制导激光编码的研究

魏文俭¹, 秦石乔¹, 战德军¹, 张宝东², 李 华³

(1. 国防科学技术大学光电科学与工程学院光信息科学与技术系, 湖南 长沙 410073;
2. 91404 部队, 河北 秦皇岛 066070; 3. 63880 部队, 河南 洛阳 471003)

摘 要:通过理论分析,指出可用于激光半主动寻的制导的激光编码方式主要有脉冲间隔调制(PIM)和脉冲宽度调制(PWM)。通过分析和研究现有的国内外许多激光编码及其特点,提出了一种PIM编码与PWM编码混编的新型编码思想,并给出了具体的编码方法。最后给出了激光编码的发展趋势。

关键词:激光半主动制导;激光调制;激光编码;激光有源干扰

中图分类号:TN97 **文献标识码:**A

Research on Laser Encoding in Laser Semi-active Homing Guidance

WEI Wen-jian¹, QIN Shi-qiao¹, ZHAN De-jun¹, ZHANG Bao-dong², LI Hua³

(1. Optical Information Department of Science and Technology, Photoelectric Institute of Science and Engineering, NUDT, Changsha 410073; 2. PLA. 91404, Qinhuangdao 066070; 3. PLA. 63880, Luoyang 471003, China)

Abstract: On the base of laser modulation concept, only two modes of laser modulation, pulse interval modulation (PIM) and pulse width modulation (PWM), which can be used in laser semi-active guidance, was pointed out by theory analyses. By analyzing and studying the characteristic of many laser codes at home and abroad, and a new encoding method combining PIM and PWM, and the embodiment of its realizing method was put forward. It provided with the developing trend of laser encoding in the end.

Key words: laser semi-active target-seeking guidance; laser modulation; laser encoding; active laser jamming

1 引言

采用编码的激光脉冲作为制导信号,是激光半主动寻的制导武器^[1-3]实现同时攻击多目标和提高抗干扰性的重要手段。

激光编码的目的^[4]一是解决在同一战场同时攻击多个目标时多个激光目标指示器互相干扰的问题;二是解决在同一战场多枚激光制导武器同时攻击不同目标时不致引起混乱;三是提高对抗激光有源干扰。

2 激光编码原理

2.1 激光调制的概念

激光调制是指以激光作为信息载体,通过对激光的物理特性如激光能量、偏振方向、脉冲宽度、脉冲间隔、重复频率、波长及相位等参量进行调制,使激光携带尽可能多的信息。调制的激光既可以是连

作者简介:魏文俭(1974-),男,博士生,主要从事光电精确制导与对抗技术的研究。E-mail:wwj_2108@163.com

收稿日期:2008-06-13;修订日期:2008-07-19

续光,也可以是脉冲光。

2.2 激光编码的概念

激光半主动制导武器采用的激光编码,是指对目标指示器发射的激光脉冲物理特性进行调制。

激光编码可采用的方式是由当前激光技术、光电检测技术和激光半主动制导原理等综合因素所决定的。从理论上讲,激光编码主要有脉冲间隔调制(PIM)和脉冲宽度调制(PWM),即PIM编码和PWM编码。但在目前公开报道的文献中,普遍采用的激光编码都是PRF(Pulse Repetition Frequency)编码。PRF编码与PIM编码实际上是一种编码,二者只是在物理概念上有所不同,经过二者编码的激光脉冲在空间上表现出的特性是完全一样的。

2.3 激光编码的一般原则

激光编码通常应遵循以下几个原则^[5]:

(1) 激光编码应满足激光编码的三个目的要求;

(2) 激光编码必须在当前软硬件性能基础上设定其调制参数;

(3) 激光编码实现较简单,并且解码也较简单;

(4) 激光编码的重复频率必须大于等于激光制导武器实现高精度制导所需的制导信号的数据率。通常,激光编码的重复频率为10~20pps;

(5) 激光编码尽可能要表现出伪随机码的特性,这样可提高敌方识别编码的难度;

(6) 激光编码应具有标准性、通用性和可扩展性,且具有密码特性。

3 国内激光编码分析

到目前为止,国内对激光编码方法的认识和研究比较深入,提出的激光编码方法主要有以下几种^[5-9]:精确频率码、脉冲调制码、二间隔码、等差型编码、伪随机码、脉冲宽度编码以及其他新型编码方式。上面提到的编码方法除脉冲宽度编码外,其余的编码都可以认为是PIM编码。

3.1 精确频率码

精确频率码是指编码的激光脉冲间隔(T_0)在整个照射周期内固定不变,其脉冲序列由下式给出:

$$X_n = T_0 \times (n - 1), n = 1, 2, 3, \dots$$

精确频率码的编码及解码都简单,但是很容易

被识别和复制,因此其抗干扰性较差。

3.2 脉冲调制码(PCM)

脉冲调制码是对一定重复频率脉冲序列的激光信号进行调制的编码,调制的目的是让某个应该产生激光的脉冲不发射。对于重复频率为20Hz的1001011码型的7位脉冲调制码,如图1所示。

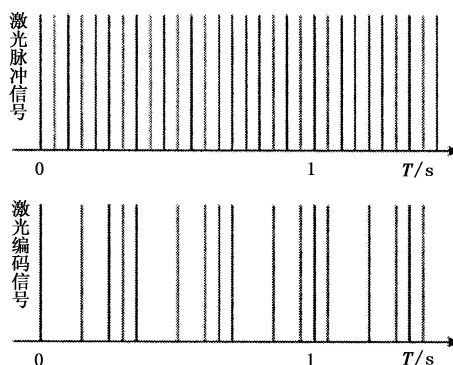


图1 脉冲调制码(7位,1001011)示意图

脉冲调制码的特点是编码较简单,增加了敌方识别的难度但解码较复杂,而且编码位数较低,编码存在规律性,因此抗干扰性一般。

3.3 二间隔码

二间隔码是指采用两个时间间隔 T_1 和 T_2 ($T_1 + T_2 = 2T_0$),使激光脉冲整个照射周期内按重复间隔 T_0 的规律周期变化的编码。若 T_1 为奇数激光脉冲的时间间隔, T_2 为偶数激光脉冲的时间间隔,则其脉冲序列由下式给出:

$$X_n = \frac{1 - (-1)^n}{2} \times \left((T_1 + T_2) \times \frac{n+1}{2} - T_2 \right) + \frac{1 - (-1)^n}{2} \times (T_1 + T_2) \times \frac{n}{2} - a \times T$$

式中, $n = 1, 2, 3, \dots$; $a = 0, 1$,且 $a = 0$ 表示首次脉冲相遇是小间隔脉冲, $a = 1$ 表示首次相遇是大间隔脉冲。

二间隔码编码与解码都较简单,与PCM码相比,此码规律性强,更容易被识别和复制,因此抗干扰性差。

3.4 等差型编码

等差型编码是指各个脉冲间隔具有某种趋势,例如从小到大,或从大到小,脉冲间隔具有一定规律但全程不循环的编码方式。例如,首脉冲间隔为 T_1 的等差型两种编码如下:

$$\text{等差递增: } T_1, T_1 + \Delta t, T_1 + 2\Delta t, \dots$$

等差递减: $T_1, T_1 - \Delta t, T_1 - 2\Delta t, \dots$

等差型编码的脉冲间隔在整个照射周期内不循环,并且编码与解码较简单,但存在规律性,因此这种编码的抗干扰性一般。

3.5 伪随机编码

伪随机码实质上是一种将制导信号与随机信号在时间上交叠在一起的一种编码,编码的周期不循环,既具有随机码的性质,又具有一定的规律性,如图2所示。

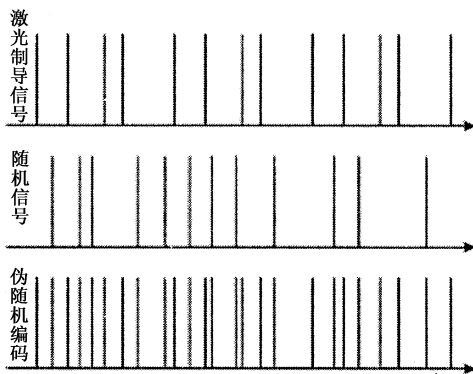


图2 伪随机码示意图

此种伪随机码由于其具有随机码的特点,并且编码的周期不循环,不容易被敌方识别,所以其抗干扰性最好,但是编码与解码相对较复杂,且能源浪费严重。

3.6 脉冲宽度编码(PWM)

PWM编码是指对各个脉冲宽度进行调制,使激光制导信号的各个脉冲宽度不全相同,从而达到编码的目的。PWM编码与PIM编码机理基本相同,不同之处在于二者调制的物理量一个是脉冲宽度,一个是脉冲间隔。关于激光脉冲宽度可调的激光器的实现原理在文献[8]和文献[10]中叙述得很详细,这里不做赘述。

3.7 其他编码

文献[9]中提到一种新型编码方案。该方案中的每组编码由几队码字组成,每队码字由队头、队身和队尾组成,其中队头相同。这种编码也是PIM编码,不具有周期性,无固定重频,具有随机性,且解码简单、速度快,抗干扰性较好,但此编码的通用性一般。

另外,文献[9]中提到的跳频码、频码捷变型式等编码,都属于PIM编码。

4 国外激光编码分析^[11-14]

美国对激光半主动寻的制导武器的研究最为典型。因此,这里只分析美国的激光编码。

美国在20世纪60年代初期采用的激光编码主要是精确频率码。60年代中期,研究了脉冲重复频率(PRF)编码,采用的激光编码位数较低,通常为3~4位,又称为PRI(Pulse Repetition Interval)编码。60年代后期,开始引用雷达里编码的概念,研究了伪随机码,最高位数达20位。70年代后,开始研究脉冲间隔调制(PIM)编码,位数高达254位,容量可达512组编码。这里只介绍PRF编码和PIM编码的编码机理。

4.1 脉冲重复频率(PRF)编码

美国60年代中期研究的PRF编码,通常位数为3~4位,采用8进制数字表示,数字1~8分别代表着8个不同的重复频率(即代表着8个特定的时间间隔),数字越小代表着越高的重复频率(即越短的时间间隔),这种编码具有优先级特性。

PRF编码的码字中,若1代表重复频率为 f_1 周期 T_1 的激光脉冲,2代表重复频率为 f_2 周期 T_2 的激光脉冲, ..., 8代表重复频率为 f_8 周期 T_8 的激光脉冲,则编码158在时间上可表示为图3所示。

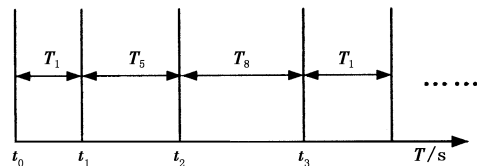


图3 PRF编码的3位码158示意图

由上可见,美国的PRF编码同样是一种(PIM)编码,精确频率码是它的一种特例。该种码编码简单,标准性、通用性和可扩展性强,但是编码位数较低,解码较复杂,规律性强,抗干扰性与PCM码相当。

4.2 脉冲间隔调制(PIM)编码

PIM编码通过调制空间相邻的两个激光脉冲的时间间隔而实现编码目的。PIM码的调制信息表现在空间上相邻脉冲的不同时间间隔顺序上,不同的时间间隔顺序代表不同的码字,并且每组码字中所有的相邻的两个间隔(间隔对)的循序是唯一的,通过识别一个间隔对,即检测到三个脉冲就可以确定是否是制导信号,因此这种编码方法又可以称为唯

一间隔对编码。

美国的这种 PIM 编码(唯一间隔对编码)是脉冲间隔调制编码的一个特例,可兼容 PRF 编码,可扩展为 256 位编码,采用八进制表示范围为;000 ~ 777。该编码具有随机码和密码的特性,其标准性、通用性和可扩展性比较好,有较强的抗干扰性能,具有实际使用价值。但解码较复杂,且对高重频干扰的抗干扰性减弱。

5 新型编码

鉴于目前激光有源干扰技术的不断发展,特别是激光告警技术、激光解码技术和激光器技术的不断发展,前面分析的国内外的各种激光编码对于目前的激光有源干扰都表现出了抗干扰性能一般的趋势。因此,有必要提出新的编码方法,以提高激光编码的抗干扰性。

当前可有效地对抗激光半主动寻的制导的激光有源干扰技术^[6,13-14]主要有两种:激光角度欺骗干扰和高重频激光干扰。激光角度欺骗干扰通常需要识别出激光编码的最小编码周期,其干扰机理是识别和复制激光编码信号,将同步或稍超前同步的激光干扰信号指示到假目标上,致使导引头无法区分制导信号与干扰信号,来实现干扰目的;高重频激光干扰通常不需识别激光编码信号的特征,其干扰机理是采用高重频(通常 100K 以上)激光脉冲直接照射导引头,使干扰信号保证进入波门之内,致使导引头无法区分制导信号和干扰信号,来实现干扰目的。

由上面分析可见,对抗激光角度欺骗干扰只要采用大周期伪随机 PIM 编码即可,而对抗高重频激光干扰只采取大周期伪随机 PIM 编码还不够,导引头还是不能区分制导信号和干扰信号,这就需要加入新的编码信息,以便于导引头可以识别制导信号与干扰信号。针对目前激光制导对抗设备一般同时采用这两种激光有源干扰方式,所以,可采用将激光制导信号既进行 PIM 编码又进行 PWM 编码。这样,经过同时 PIM 和 PWM 编码的 PIWM(Pulse Interval and Width Modulation)编码激光制导信号,既可以对抗激光角度欺骗干扰又可以对抗高重频激光干扰。

这种新型的 PIWM 编码的实现原理可以采用唯

一间隔对的思想,即同时对脉冲时间间隔和脉冲宽度进行唯一间隔对编码,时间间隔可以采用高位数(大周期循环),而脉冲宽度可采用低位数(小周期循环)。

举例说明,设存在 8 个时间间隔(PI) A, B, C, D, E, F, G 和 H, 4 个脉冲宽度(PW) a, b, c 和 d, 如表 1 所示。

Tab. 1 Pulse interval, width and their address

INDEX	ADDS	PI	PW
1	0	A	a
2	1	B	b
3	2	C	c
4	3	D	d
5	4	E	
6	5	F	
7	6	G	
8	7	H	

对于表 1 中的时间间隔,若采用地址差异排列为: $\Delta_i = 1, 3, 5, 6, 7, 2$

则 Σ ROM 排列为:

$$\Sigma \text{ROM} = 1, 4, 9, 15, 22, 24$$

故根据首间隔的不同可编出 8 组码,采用 3 位二进制表示,可表示为 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111, 如表 2 所示(限于篇幅,只列出中间六组码字)。

表 2 PIM 编码

001	010	011	100	101	110
B	C	D	E	F	G
C	D	E	F	G	H
F	G	H	A	B	C
C	D	E	F	G	H
A	B	C	D	E	F
H	A	B	C	D	E
B	C	D	E	F	G

对表 1 中的脉冲宽度,若采用地址差异排列为:

$$\Delta_i = 1, 3$$

则 Σ ROM 排列为:

$$\Sigma \text{ROM} = 1, 4$$

故根据首宽度的不同,可编出4组编码,用两位二进制表示,可表示为00,01,10,11,如表3所示。

Tab. 3 Pulse width encoding

00	01	10	11
a	b	c	d
b	c	d	a
a	b	c	d

通过将PI编码和PW编码组合,可以组合成32组编码,这里列出4种,如表4所示。

Tab. 4 Pulse interval and width encoding

001/00	010/01	011/10	100/11
B(a)	C(b)	D(c)	E(d)
C(b)	D(c)	E(d)	F(a)
F(a)	G(b)	H(c)	A(d)
C(b)	D(c)	E(d)	F(a)
A(a)	B(b)	C(c)	D(d)
H(b)	A(c)	B(d)	C(a)
B(a)	C(b)	D(c)	E(d)

由上述PIWM编码可见,该编码具有随机码和密码的特性,其标准性、通用性和可扩展性较好。在脉冲间隔编码的基础上,加入脉冲宽度编码,这样其针对激光有源干扰的抗干扰性具有明显的提高。

6 激光编码发展趋势

随着激光有源干扰技术的不断发展和完善,激光半主动制导武器早期的激光编码方法已经无法保障它的抗干扰性能了,这必然迫使寻求新的激光编码方法来代替已经失效的早期的激光编码方法。通过前面分析,可以看出激光编码今后的发展趋势主要有以下几点:

- 大周期循环的伪随机编码;
- 高位数的PWM编码;
- PIWM编码。

参考文献:

[1] Deng Ren-liang. Optical guidance technology[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1992. (in Chinese)

[2] Wang Yong-zhong. Modern military optics technology [M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)

[3] Wei Wen-jian, Qin Shi-qiao, Zhang Bao-dong, et al. Design on the optical system of laser semi-active seeking guided hardware-in-the-loop simulation seeker[J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(2): 322 - 325. (in Chinese)

[4] Joint laser designation procedures. Joint Pub. 3 - 09. 1, June 1, 1991. (in Chinese)

[5] Ju Yang-feng, Ma Bao-qiang, Yao Mei, et al. Encoding and jamming technology for laser guidance signal[J]. Electronics Optics and Control, 2007, 14(1): 85 - 86. (in Chinese)

[6] Xu Dai-sheng, Xing Hui. The design and application of laser encoding [J]. Electronic Countermeasure Tes, 2002, 38(2): 18 - 21. (in Chinese)

[7] An Hua-hai, Yan Xiu-sheng, Zheng Rong-shan. Encoding analysis and recognizing technology of laser guidance signal [J]. Electro-optic Countermeasure and Passive Jamming, 1996, 11(3): 26 - 30. (in Chinese)

[8] Huang Feng, Wang Yue-fang, Niu Yan-xiong, et al. Design on the optical system of laser semi-active seeking guided hardware-in-the-loop simulation seeker[J]. Laser and Infrared, 2005, 35(2): 137 - 139. (in Chinese)

[9] 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): 535 - 539. (in Chinese)

[10] Nielsen, Keith E, Redondo Beach. Active energy control for diode pumped laser systems using pulse width modulation[P]. US5291505, Ca., 1993. (in Chinese)

[11] Kenneth O Bryant, Ridgecrest. Programmable 20-bit pseudorandom (PRF) generator[P]. US3662386, 1970. (in Chinese)

[12] Thomas E., Bayston, Maitland, et al. Pulse code recognition method and system[P]. US5023888, 1973. (in Chinese)

[13] Tong Zhong-cheng. A new technology of laser angle-cheating jam[J]. Applide Laser, 2007, 27(1): 25 - 27. (in Chinese)

[14] Huang Feng, Wang Yue-fang, Wang Jin-yu, et al. Study on application of high-repetition-rate solid state lasers in photoelectric countermeasure[J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32(5): 465 - 467. (in Chinese)