

激光末制导炮弹武器系统新型激光编码方案

方艳艳,柴金华

(中国人民解放军炮兵学院,安徽合肥 230031)

摘要:基于对激光制导武器系统激光编码及波门设置特点的分析,提出了激光末制导炮弹武器系统的新型激光编码方案。分析表明,该方案兼有脉冲间隔编码和有限位随机周期脉冲序列的优点,首脉冲易确定,无固定重频和周期性,我方容易解码而敌方难以识别,具有较强的抗有源欺骗干扰能力。

关键词:激光编码; 激光末制导炮弹; 抗干扰

中图分类号:TN97 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2005)05-0535-05

New kind scheme of laser code in the laser terminal guidance ammunition round

FANG Yan-yan, CHAI Jin-hua

(Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: Upon analyzing the characteristics of laser code and wave gate setting, a new kind scheme of laser code in the laser terminal guidance ammunition round is proposed. Based on analysis it is concluded that the scheme has the advantages of both pulse interval coding and bit-limited random periodic code. It has the characteristics of easily identifying the first signal, and having no fixed pulse repetition or periodicity. The scheme which can easily be decoded by ourselves but not be recognized by enemy, and has the ability of countering active deception jamming.

Key words: Laser code; Laser terminal guidance ammunition round; Counter jamming

0 引言

激光末制导炮弹武器系统^[1]是精确制导武器的重要形式之一,具有命中精度高的特点,大大提高了火炮的作战效能。

目前,针对激光精确制导武器系统的干扰技术正迅速发展^[2-5]。干扰方式主要有:(1)无源干扰,如烟幕干扰和隐身干扰;(2)致盲干扰;(3)有源欺骗干扰,主

要包括^[6]高重频激光有源干扰、同步转发式干扰和应答式干扰。

激光制导武器抗有源欺骗干扰的技术措施主要有两种形式^[7]:一是使目标指示信号具有一定规律的编码特征,跟踪系统设置相应的解码电路解码;二是在跟踪系统上设置脉冲录取波门。通常这两种措施同时被采用。目标指示信号采用编码方式,在激光跟踪系统瞬时视场内出现多批制导信号和干扰信号的情

收稿日期:2004-11-28; 修订日期:2004-12-20

作者简介:方艳艳(1977-),女,安徽贵池人,硕士生,研究方向为航空理论、兵器系统分析及信号检测、光电子技术应用。

况下能准确分辨己方的制导信号,而在跟踪系统上设置脉冲录取波门,则是为了使跟踪系统只有在己方的制导信号到达的时刻才开启波门,而在波门关闭期间不接收任何信号。

在分析现有激光编码和波门设置的特点的基础上,提出激光末制导炮弹武器系统的新型抗有源欺骗干扰激光编码方案。

1 波门设置和激光编码

脉冲录取波门设置的目的是接收己方制导信号,剔除干扰信号。导引头只在搜索到它确认的制导信号后才启用波门,时间是搜索段之后的制导段。波门可设置成固定型和实时型两种^[4]。

(1) 固定型波门是指在确认一组相关制导信号后,以某一个脉冲为同步点,按照约定的方式一次设定好以后所有时刻的波门开启时间。

(2) 实时型波门,其同步点不是一个,波门也不是一次性设定的,它是每一次实际接收的信号脉冲作为下一个波门的同步点,来设定下一次波门的开启时间。

实时型波门的设置,可以消除波门设置中的累计误差,且波门可以设置得相对很窄,故被目前的大多数激光制导武器所采用。

导引头波门选通的时刻由所选用的编码决定,但由于受激光目标指示器发射激光时刻的漂移、导引头在不同距离接收到激光制导信号的延时差异、指示器与导引头时基的不一致等因素的影响,因此波门时间宽度不可能无限缩小至仅容一个脉冲通过,通常应设为几十微秒以上。这必然给干扰信号提供了干扰的空间。而要缩短波门开启的时间宽度,导引头的硬件性能需要改善,这在短时间内无法实现。

激光脉冲编码是激光目标指示器发射激光脉冲的一种时间规律。现在最常采用的编码方式是脉冲间隔编码和有限位随机周期脉冲序列,另外其他几种编码方式有:等差级数码、跳频码、频码捷变型式和位数较低的伪随机码^[7]。

图 1 是脉冲间隔编码框图。图中 BIT₁~BIT_n 非“0”即“1”,但不可能全为“0”,因为这样就没有信号存在。这种编码的生成机理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。这种码型简单、易实现、易识别,又称为固定重频、固定位数码型。

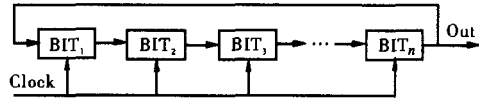


图 1 脉冲间隔编码框图

Fig.1 Scheme of pulse interval coding

图 2 是有限位随机周期脉冲序列示意图。T₀~T₈ 代表不同的制导信号脉冲,其中 T₀~T₄ 是一个周期, T₄~T₈ 是另一个周期。这种码具有重复性(图中以五位码为例),但一个周期 T 中的各脉冲之间的间隔时间是随机的。

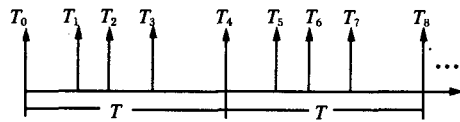


图 2 有限位随机周期脉冲序列示意图

Fig.2 Schematic diagram of bit-limited random periodic code

这两种编码各具有其优点:脉冲间隔编码能快速确定其首脉冲、码间干扰信号易剔除;有限位随机周期脉冲序列没有固定重频,增加了识别难度。两者的码型都不复杂,但都具有周期性,可以被识别。现在国外已有这样的干扰装备。例如,美国陆军的 AN/GLQ-13 车载激光对抗系统,英国研制的 405 型激光诱饵系统,其激光有源干扰具有方位、重频编码和波长的识别能力。

2 新型激光编码方案

采用复杂的编码,如借用通讯中使用的编码,由于制导时间短、激光指示器重频不高以及接收信号的弹体反应速度的限制,会使制导失败。所以对制导而言,其可行的编码方式应具有简单性,又较难被敌方识别的特点。

为了增加敌方识别编码的难度、延长其识别时间,可增加脉冲间隔编码的码数,但由于其有固定重频,效果不明显。这种方法对有限位随机周期脉冲序

列适用,若把有限位随机周期脉冲序列的周期内码数的个数增加,使其在一次制导过程中只有一个周期,或第二个周期未完时制导已结束,这样编码的规律固然使敌方很难识别,但同时带来了另外一个问题,就是己方导引头也会有同样的搜索难题,特别对于在制导过程中穿越云层、烟幕等短时丢失信号的情况。

鉴于这些原因,提出一类新的编码方案,很好地解决了上述矛盾。该编码不具有周期性,一个编码在其制导的全过程无规律可循,很难被敌方识别,但又部分采纳了上述两种编码的优点,并且码型也很简单,容易被己方搜索。

2.1 示例

某激光末制导炮弹弹丸的外弹道依次经历无控段、惯性制导段和自动导引段,而激光编码和波门设置仅在自动导引段起作用。当接收到炮弹的“发射了”的信号后,在弹丸距离目标一定距离时,执行同步器自动接通激光测距目标指示器,向目标发射激光束。

考虑到激光末制导炮弹飞行时间中编码信号没有周期性,不存在等差、等比等规律,更无固定频率的要求,这类新型编码根据脉冲与脉冲的时间间隔来确定是否是有用的信号。可以将其分成若干组,每组有若干队,每队有队头、队身和队尾(它们是不同的位置的时间间隔的代名词)。其中每个队头都是脉冲间隔编码的一个周期,撇开队身和队尾,会发现所有的队头连接起来就是一个脉冲间隔编码,因此该新型编码局部具有脉冲间隔编码的一些特点。每组内的队身都相等,一个编码的各组间的队身满足一定的规律。队尾为随机码,一个编码的所有队尾依次放在程序列表中等待读取。这里给出这类编码的一个示例,如表1所示。发射脉冲时先发第1组的第1队、第2队、第3队...,再发第2组的第1队、第2队、第3队...,依次下去。

表1示出,这个编码方案共有15组,每组5队,每队的第一、第二个脉冲是队头,第三个脉冲是队身,

表1 激光末制导炮弹新型激光编码方案示例
Tab.1 Example of new kind scheme of laser code

(ms)	1st troop	2nd troop	3th troop	4th troop	5th troop	6th troop	7th troop	8th troop	9th troop	10th troop	11th troop	12th troop	13th troop	14th troop	15th troop
	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
1st team	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>B</i> ₇	<i>B</i> ₈	<i>B</i> ₉	<i>B</i> ₁₀	<i>B</i> ₁₁	<i>B</i> ₁₂	<i>B</i> ₁₃	<i>B</i> ₁₄	<i>B</i> ₁₅
	<i>D</i> ₁₁	<i>D</i> ₁₂	<i>D</i> ₁₃	<i>D</i> ₁₄	<i>D</i> ₁₅	<i>D</i> ₁₆	<i>D</i> ₁₇	<i>D</i> ₁₈	<i>D</i> ₁₉	<i>D</i> ₁₁₀	<i>D</i> ₁₁₁	<i>D</i> ₁₁₂	<i>D</i> ₁₁₃	<i>D</i> ₁₁₄	<i>D</i> ₁₁₅
	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
2nd team	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>B</i> ₇	<i>B</i> ₈	<i>B</i> ₉	<i>B</i> ₁₀	<i>B</i> ₁₁	<i>B</i> ₁₂	<i>B</i> ₁₃	<i>B</i> ₁₄	<i>B</i> ₁₅
	<i>D</i> ₂₁	<i>D</i> ₂₂	<i>D</i> ₂₃	<i>D</i> ₂₄	<i>D</i> ₂₅	<i>D</i> ₂₆	<i>D</i> ₂₇	<i>D</i> ₂₈	<i>D</i> ₂₉	<i>D</i> ₂₁₀	<i>D</i> ₂₁₁	<i>D</i> ₂₁₂	<i>D</i> ₂₁₃	<i>D</i> ₂₁₄	<i>D</i> ₂₁₅
	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
3rd team	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>B</i> ₇	<i>B</i> ₈	<i>B</i> ₉	<i>B</i> ₁₀	<i>B</i> ₁₁	<i>B</i> ₁₂	<i>B</i> ₁₃	<i>B</i> ₁₄	<i>B</i> ₁₅
	<i>D</i> ₃₁	<i>D</i> ₃₂	<i>D</i> ₃₃	<i>D</i> ₃₄	<i>D</i> ₃₅	<i>D</i> ₃₆	<i>D</i> ₃₇	<i>D</i> ₃₈	<i>D</i> ₃₉	<i>D</i> ₃₁₀	<i>D</i> ₃₁₁	<i>D</i> ₃₁₂	<i>D</i> ₃₁₃	<i>D</i> ₃₁₄	<i>D</i> ₃₁₅
	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
4th team	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>B</i> ₇	<i>B</i> ₈	<i>B</i> ₉	<i>B</i> ₁₀	<i>B</i> ₁₁	<i>B</i> ₁₂	<i>B</i> ₁₃	<i>B</i> ₁₄	<i>B</i> ₁₅
	<i>D</i> ₄₁	<i>D</i> ₄₂	<i>D</i> ₄₃	<i>D</i> ₄₄	<i>D</i> ₄₅	<i>D</i> ₄₆	<i>D</i> ₄₇	<i>D</i> ₄₈	<i>D</i> ₄₉	<i>D</i> ₄₁₀	<i>D</i> ₄₁₁	<i>D</i> ₄₁₂	<i>D</i> ₄₁₃	<i>D</i> ₄₁₄	<i>D</i> ₄₁₅
	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
5th team	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>B</i> ₇	<i>B</i> ₈	<i>B</i> ₉	<i>B</i> ₁₀	<i>B</i> ₁₁	<i>B</i> ₁₂	<i>B</i> ₁₃	<i>B</i> ₁₄	<i>B</i> ₁₅
	<i>D</i> ₅₁	<i>D</i> ₅₂	<i>D</i> ₅₃	<i>D</i> ₅₄	<i>D</i> ₅₅	<i>D</i> ₅₆	<i>D</i> ₅₇	<i>D</i> ₅₈	<i>D</i> ₅₉	<i>D</i> ₅₁₀	<i>D</i> ₅₁₁	<i>D</i> ₅₁₂	<i>D</i> ₅₁₃	<i>D</i> ₅₁₄	<i>D</i> ₅₁₅

最后一个脉冲是队尾。其中有这样的规律：每队的队头是两个 a 的间隔，队身分别为 $B_1、B_2、B_3、B_4、B_5 \dots$ ，按等差级数递增。队尾是没有规律的间隔，但本组的各队队尾在数值上依次增加。

改变队身或队尾的间隔时间，便有多组编码；改变队头或队尾的个数，如队头由 2 个增至 3 个，队尾由 1 个增至若干，又有多个编码；或者，改变队头，如由示例的相等的编码变为一般的脉冲间隔编码。可见，这类新型的编码方案可包含无数个具体的激光编码方式。但它们的特点是：(1) 没有周期性，干扰侦察方较难识别其信号规律。(2) 有相同的重复的队头，使己方导引头很快确定信号首脉冲。(3) 队身和时钟一一对应，使得导引头在制导途中短时丢失信号的情况下(如穿过云层、烟幕)，能迅速锁定信号。(4) 这类编码没有固定频率，仅按时间间隔识别有用信号。

2.2 快速确定首脉冲

脉冲间隔编码的优点是能快速确定首脉冲和剔除最小脉冲间隔时间内的干扰。由于脉冲间隔编码是固定重复频率的，故在最小脉冲间隔时间内的脉冲是干扰信号，以此可以确定首脉冲和有用的制导信号。

提出的这类新型编码，如果一个编码的队头是一般的脉冲间隔编码，则可以快速识别首脉冲。对于表 1 给出的示例，不仅队头全部一样，而且每队的队头采用相等的时间间隔，这样确定首脉冲时更为简单(见图 3)。图中， t_1 是读取的第 1 个间隔， $t_i、t_j$ 是读取的第 $i、j$ 个间隔， $h_i、h_j$ 是第 $i、j$ 个有效间隔，连续两次判断有效间隔从而确定首脉冲。该方法类似于脉冲间隔编码的一种最简单码型——单重频码的方法。

采用图 3 的原理框图确定表 1 这种编码首脉冲的时间，最长比相应的单重频编码花费的时间多一个队身加队尾的时间。而对于其他新型编码确定首脉冲的时间，比相应的脉冲间隔编码确定首脉冲的时间也只多一个队身加队尾的时间。

2.3 快速锁定信号

脉冲间隔编码和有限随机周期脉冲序列编码方式都具有周期性，通常识别两三个周期后确定是否为有用信号，在制导途中丢失信号的情况下，也采用这种方法重新锁定信号。当码数低时，重新锁定信号的时间也短。如对于两位的脉冲间隔编码重新锁定时间，在频率为 15 pps 时大约为 200 ms。但当码数增加

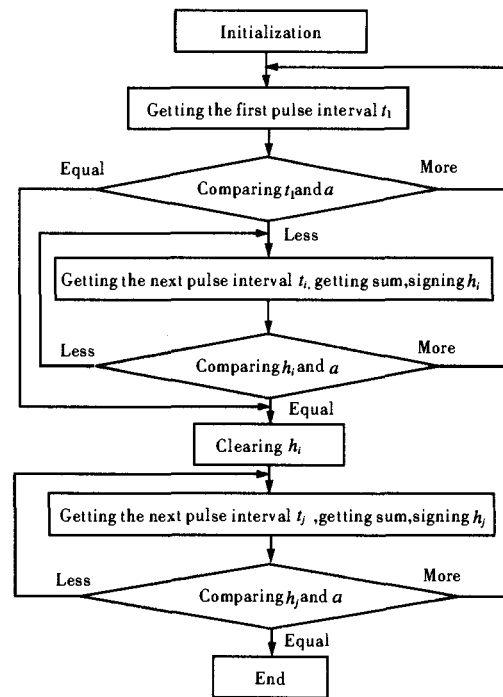


图 3 确定首脉冲流程图

Fig.3 Software frame of identifying the first signal

时，重新锁定时间也随之增加。若码数很大时，采用这种方法要耗费大量的时间，甚至丢失目标。

提出的这类编码方案由于增加了一个定时器，克服了无周期性带来的重新搜寻的困难，具有快速锁定信号的能力，如图 4 所示。图中定时器起一个秒表的作用，用来计算制导的时间。当导引头开始搜索时，定时器开始计时。若制导途中丢失信号，软件程序自动查询定时器读取时间，再根据所读取的时间判断是该编码中的第几组，从而锁定目标。

具体来说，针对表 1 的示例，由队头确定了首脉冲后，假如从定时器中读出 6 s，设每组编码所占的时间大约为 1 s，就能找到该编码的第 6 组，考虑到激光目标指示器与导引头的时基不可能严格一致，比较第 5 组、第 6 组、第 7 组的队身 $B_5、B_6、B_7$ ，确定是第几组。再比对该组(假设是第 6 组)的列表数值 $D_{16}、D_{26}、D_{36}、D_{46}、D_{56}$ ，确定是第几队，从而确定了信号。通常，比较三组队身就能消除大约 3 s 的时基误差，其比较造成的延时误差仅为几十微秒。从理论上分析，这种编码可以不受制导时间的限制，随时、快速锁定信号，搜索延时时间应小于两个队长的间隔时间。

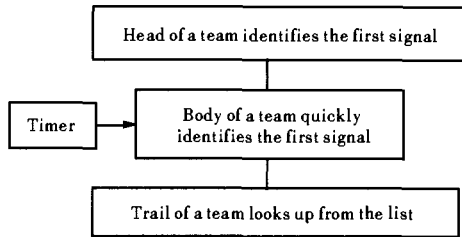


图4 快速锁定信号框图

Fig.4 Scheme of quickly locking signal

3 总结

脉冲间隔编码具有快速确定首脉冲及码间干扰信号易剔除的特点;有限位随机周期序列与脉冲间隔编码相比,具有无固定频率、间隔时间随机的特点。新型激光编码方案,不仅结合了上述两种编码的优点,而且采用了非周期性的编码规律,采用随机间隔,没有固定重频;能快速确定编码中的任意组的任意队,且确定的延迟时间很短;能快速锁定信号,避免制导脉冲串中途丢失造成的影响。该新型编码既能被我方便识别,又能使敌方难以解码。该方案不仅适用激光末制导炮弹,也适用于其他许多激光制导武器系统。

参考文献:

[1] FANG Yan-yan, CHAI Jin-hua. Contract analysis of laser terminal

guided projectile in USA and Russia[J]. Guidance & Fuze(方艳艳,柴金华.美俄激光末制导炮弹的对比分析.制导与引信), 2004, 30(3): 12-18.

[2] JIANG Yao-ting, YANG Jie, ZHOU Xiao-song. Laser jamming technique and present development[J]. Infrared and Laser Engineering(蒋耀庭,杨杰,周晓松.激光干扰技术及发展现状.红外与激光工程), 2001, 30(5): 386-389.

[3] NIU Yan-xiong, WANG Yue-feng, ZHANG Chu, et al. Countermeasure system of laser guidance weapons[J]. Infrared and Laser Engineering(牛燕雄,汪岳峰,张维,等.激光制导武器的对抗系统.红外与激光工程), 1998, 27(2): 47-51.

[4] CHEN Hong-zhe. Summary of laser active jamming technique[J]. Electro-optic Countermeasure and Passive Jamming(陈宏哲.激光有源干扰技术综述.光电对抗与无源干扰), 1996, 11(3): 31-36.

[5] WANG Ying, YANG Jun, ZHU Xiu-li, et al. The development of foreign electro-optic countermeasure equipments[J]. Foreign Electro-war(王莹,杨军,朱秀丽,等.国外光电对抗装备发展.外军电子战), 2003, (3): 36-41.

[6] SUN Xiao-quan, LV Yue-guang. Principle and Technique of Laser Countermeasure[M]. Beijing: PLA Press(孙晓泉,吕跃广.激光对抗原理与技术.北京:解放军出版社), 2000.

[7] AN Hua-hai, YAN Xiu-sheng, ZHENG Rong-san. Code analysis and recognition treatment technique of laser guidance signal[J]. Electro-optic Countermeasure and Passive Jamming(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.光电对抗与无源干扰), 1996, 11(3): 26-30.

(上接第525页)

参考文献:

[1] CAI Yan-min, CHEN gang, CHEN Gao-ting, et al. On the effective reflection area of a cubic corner reflector[J]. Optical Technique(蔡燕民,陈刚,陈高庭,等.立方角锥棱镜的有效反射区.光学技术), 2000, 26(3): 253-254.

[2] OU Jia-ming, WANG Rui-li, SHANG He-cen, et al. Three forms of expression about reflection law[J]. Journal of Yunnan Normal University(欧家鸣,王瑞丽,尚鹤岑,等.反射定律的三种表达形式.云南师范大学学报), 2000, 20(1): 57-61.

[3] KUANG Cui-fang, FENG Qi-bo, LIU Xin. By vector analysis the rectangular angle error influence on characteristics of the beam of cube-corner retroreflector[J]. Optical Instruments(匡萃方,冯其波,刘欣.用矢量方法分析角锥棱镜直角误差对其光路反射特性的影响.光学仪器), 2003, 25(4): 55-58.

[4] WENG Xing-tao, NIE-Hui, LI Song, et al. Planeness issues of reflecting surfaces on a cube corner retroreflector[J]. Optical Technique(翁兴涛,聂辉,李松,等.角锥棱镜的直角面形问题.光学技术), 2002, 28(1): 71-73.

[5] WANG Zi-yu. Geometry Optics and Optical Design[M]. Zhejiang: Zhejiang University Press(王子余.光学和光学设计.浙江:浙江大学出版社), 1989, 67-70.

[6] ZHOU Hui, LI Song, SHI Yan. Effect of polarization on the far-field diffraction of ideal cube corner retroreflector[J]. Infrared and Laser Engineering(周辉,李松,石岩.偏振态对角锥棱镜远场衍射分布的影响.红外与激光工程), 2004, 33(4): 418-422.

[7] SU Xian-yu, LI Ji-tao. Information Optics[M]. Beijing: Science Press(苏显渝,李继陶.信息光学.北京:科学出版社), 2000.

[8] Fox A G, Li. Odes in a maser interferometer with curved and tilted mirrors[J]. Proc IEEE, 1963, 51: 80-89.