

# 高分辩率高可靠性激光束编码目标识别研究

施建良 王志兴 贺安之

(南京理工大学应用物理系, 南京 210094)

**摘 要** 提出激光束编码的合作式目标识别方法。该方法可克服无线电目标识别中易受电磁干扰和交错干扰的困难, 提高识别器的分辨率、降低误码率。设计了激光调制的  $M$  序列密码器, 可极大提高识别器的保密性能和询问-应答信号的质量。

**关键词** 目标识别, 激光束编码,  $M$  序列。

## 1 引 言

在一个外形相似的群体中寻找自己所需的目标或要正确地判别其中一个目标的性质和类别, 往往是很重要的。比如, 空中交通管制、机场飞机起落管理、海情监控等方面都需要对目标进行分类、辨别。在军事上, 分清敌我则更是克敌制胜的关键。

目标识别大体上可以分为合作式和非合作式两大类<sup>[1]</sup>。合作式目标识别采用询问-应答的方式, 传统的方法是利用无线电编码信号来传递询问-应答信息<sup>[2]</sup>。不久前, 英国采用了激光干涉测量目标反射光线的多普勒效应的识别方法, 研制了野外探测距离达 10 km 的识别系统。最近美国 TRW 空间与电子仪器集团研制的识别系统则用毫米波代替无线电波来传达信号。

无线电波识别系统的最大不足是容易受到干扰。由于各种无线电装备(包括大量的询问、应答机)同时工作, 电磁信号密度很大, 相互间干扰严重, 使正确地进行目标识别很困难。特别是无线电波束的发散角较大, 使询问机发出的波束较宽, 分辨率不高, 常常难以实现定点询问, 产生交错干扰和异步干扰<sup>[2]</sup>。比如, 在一个询问波束内有两架在不同距离的飞机, 则该两机将同时应答, 两个应答码可能部分重叠, 对询问机的正确解码造成很大困难。这种干扰的危害程度和空中询问、应答机的数量有关, 数量愈大, 问题愈严重。

毫米波比无线电波的发散角要小, 受烟和恶劣气象条件的影响也稍小。但由于大气衰减使得毫米波通信距离有限, 并且毫米波在雨中后向散射增加, 可能遮掉目标。所以毫米波虽然识别精度较无线电波高, 但天气的影响仍然较大。

和无线电波、毫米波相比, 激光具有发散角很小、方向性好、频率高、传播速度快、不受电磁波干扰等一系列优点。所以, 基于激光的目标识别系统询问波束可以很窄, 识别精度很高。从而交错干扰和异步干扰大大减少; 激光不受电磁波干扰的特点, 可使识别器在电磁密

集环境中仍能较好地工作。可以说,激光用于目标识别有着巨大的潜在作用,国外正积极发展利用激光目标识别系统代替传统的目标识别系统<sup>[3]</sup>。

前面所讲的干涉测量法虽然精度高,但系统复杂,对工作环境要求高,实际应用特别是作为机载识别器较困难。本文提出激光束编码的询问-应答式识别方法,利用单片机作为密码信号控制中心,用半导体激光器作为光源,整个装置简单小巧又具有激光目标识别器的识别精度高、保密性好、抗干扰性好等特点。同时,采用询问应答式可把信号的辐射时间减少到最小,有助于避免被他人截获。利用编码波形也可避免可能被他人欺骗和模仿。

## 2 基本原理

激光束编码的目标识别方法是利用密码流直接调制激光器,发射含有询问-应答密码的脉冲来完成对目标的主动识别。识别器由发射机和接收机组成,识别原理如图 1 所示。识别器的工作过程如下:首先产生询问触发,则询问机密码器发出一串密码流去调制激光器,激光器产生的信号光脉冲经光学系统聚焦、准直之后作为询问信号发到自由空间传播;接收机收到信号后,通过光电转换器件将光信号转换成电信号,经抗干扰及识别处理后确定为询问码,就以同样的方法发回应答信号,否则拒答;询问机收到应答码后,将它和预计的应答码相比较以确定敌我。

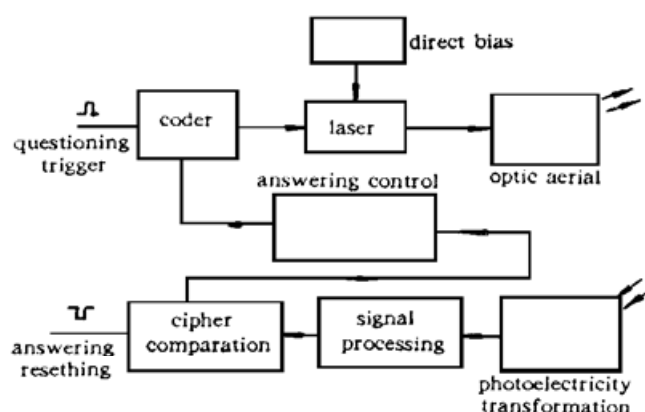


Fig. 1 Laser beam coding target recognition system

## 3 激光束编码的目标识别器设计初步

激光束编码目标识别器的研制除了要满足识别精度、识别范围等要求外,还必须使系统轻巧、可靠、易用。所以,元器件的选择和电路的优化设计是很重要的。本文作者采用 80C31 单片机作为密码信号控制中心,以半导体激光器为光源,雪崩二极管为接收机中的光电转换器件。

### 3.1 光源的选择及发射电路设计考虑

考虑到识别系统往往不能做得很大,特别是机载目标识别器,更是要求小巧。所以选择合适的激光源是第一步。由于半导体激光器光束质量好、能量高度集中、方向性好、体积小并可以通过电源直接高速调制。所以选用波长为  $0.78 \mu\text{m}$  的 GaAlAs 激光器做光源。

半导体激光器无直流偏置时,驱动脉冲由零上升到激光开始发生存在一个延迟,并且由此而产生的光脉冲出现张弛振荡,使发出光的波谱较宽。而在半导体激光器上加直流偏置,既可解决上述问题,又可减小对驱动脉冲的幅度要求。图 2 为发射框图:

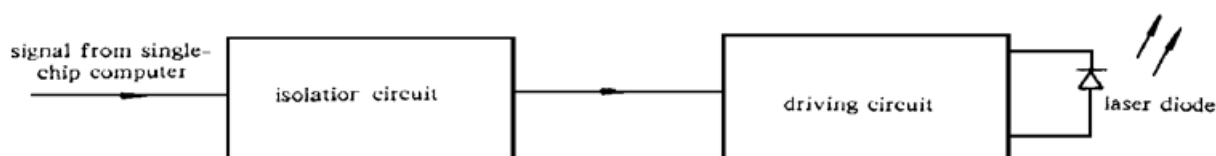


Fig. 2 Diagram of signal emitting circuit

图中, 隔离电路的作用是将直流偏置源和密码信号分开来, 以防偏置电源因电压不稳产生的尖脉冲影响来自单片机的信号。另外, 由于有了直流偏置, 来自单片机信号脉冲幅度满足要求, 且质量可靠, 不经放大处理可以直接加到激光器上。

### 3.2 接收部分设计考虑

接收机是识别器最重要的部分, 其性能好坏直接影响整个识别器的性能。将光信号转换成电信号是接收的第一步。现代光通信中, 光电转换器件通常用光电导探测器、PIN 光电二极管、雪崩光电二极管(APD)等。三者性能上各有优缺点, 适合于不同的场合。总的说来, 光电导探测器的频率特性和灵敏度都不如 PIN 光电二极管和雪崩光电二极管。而雪崩光电二极管与 PIN 光电二极管相比, 其光电转换具有内增益, 且响应速度快, 但需要高压电源和温度补偿。由于目标识别系统, 需要有很高的灵敏度和识别速度, 所以选择雪崩光电二极管作为光电转换器件是较为合适的。

整个接收部分的框图如图 3 所示:

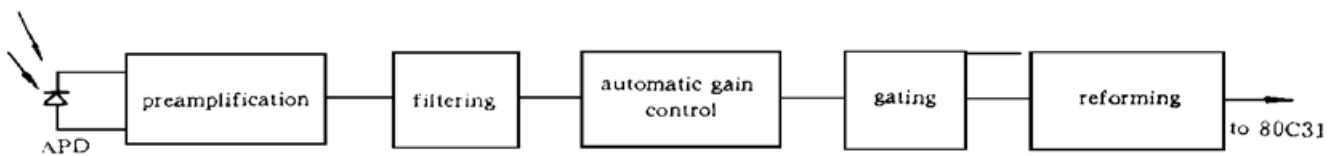


Fig. 3 Diagram of receiving circuit

其中的前置放大部分是最重要的, 它除了要求增益高、噪声小以外, 还需和前面雪崩光电二极管实现噪声及频带匹配。目前比较常用的前置放大器电路有两种形式: 一是高输入阻抗场效应晶体管(FET)放大器; 二是双极型晶体管放大器。由于本设计的电路工作频率低于 50 MHz, 采用场效应晶体管为前置放大器即可满足要求。场效应晶体管放大器后面是两级晶体管放大电路, 故整个放大器由三级组成。

紧接前置放大器电路后面的是滤波电路和自动电平增益控制(AGC)电路。滤波电路除去部分从前置放大器带来的噪声。而自动电平增益控制电路则用来控制前置放大器的信号强度, 提高接收动态范围。(接收动态范围是接收机的一个重要质量指标, 它指接收机所能接受的最大输入信号与最小输入信号之比, 常用分贝(dB)表示。)因输入信号经处理后直接输到后面的 80C31 单片机中, 如信号幅度过大势必影响甚至毁坏单片机。自动电平增益控制电路完成的功能就是控制脉冲大小以使不要超过单片机阈值。

图中选通电路进一步滤去混入信号中的噪声, 然后经整形电路将原来的正弦波变成单片机可接受的方波信号, 送到 80C31 单片机中。

### 3.3 信号控制单元设计考虑

密码信号控制单元是整个识别器的核心。它以一个 80C31 单片机为中心, 辅以显示电路、报警音响电路、密码器、激光测距机组成, 如图 4 所示。

其中 80C31 是整个系统的控制中心。它除了控制单片机产生密码流以外, 还对询问、应答信号作出响应。如果接收到询问信号或收到和机内预置相同的应答信号, 则指示灯亮, 同时发出音响报警; 如果收到的是询问码, 单片机还同时控制应答信号的发射。图中密码器产生的发射信号密码, 可通过编码开关直接在识别器面板上设置和更改。它没有固定的询问应答码结构, 以增强保密性能。按下图中的触发开关, 识别器就发出一串询问码。复位开关的作用是恢复上一次应答之前的状态, 以备下一次应答。

实际应用中, 识别器和被识别目标的距离不同, 对询问激光的波束宽度要求也不一样。就抗干扰角度来说波束越窄越好, 但为了方便接收, 一般都要求波束宽度能够覆盖被询问目标。因而距离远的波束可以窄一些(相应光束的传播距离也远些); 相距近的要求询问波束宽一些。图中激光测距机测出识别器和目标之间的距离, 根据估计的目标大小, 可算出所需的光束宽度, 进而调整光学天线中的准直聚焦系统, 使激光束满足宽度要求。

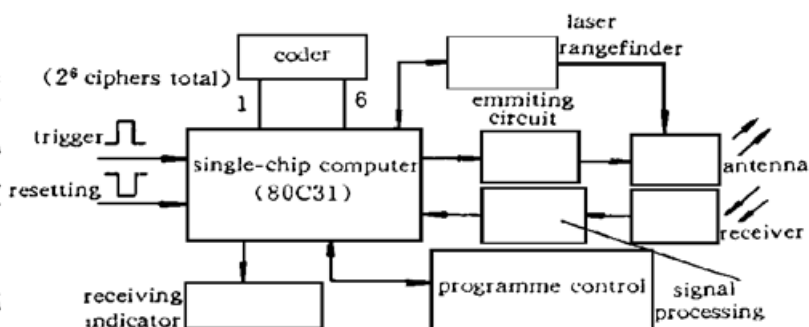


Fig. 4 Signal control center

#### 4 关于密码器的一个改进

密码器是目标识别系统的核心。在任何保密系统中, 密码容量都是系统保密性优劣的一个重要标志。针对传统识别器密码种类少, 随机性、保密性差等问题, 作者设计了基于  $M$  序列的密码器, 它直接把  $M$  序列作为密码。

$M$  序列也称 de Bruijn 序列, 以它作为密码有三大特点: 1)  $M$  序列数量巨大, 满足密码容量需求。2)  $M$  序列良好的伪随机性, 使得它有类似于白噪声的特性, 作为询问-应答信号能使输出信噪比大大增强, 使系统具有很强的保密性、抗干扰性和抗多径效应能力。3) 任一  $n$  级  $M$  序列码元结构特点是: 码字中 0 和 1 的个数相等; 0 游程和 1 游程个数相等; 短游程的个数比长游程多; 每一游程都有固定数目, 而总游程数是  $2^{n-1}$ 。(关于  $M$  序列及其相关知识可参阅参考文献[4]、[5])。

可以用单元电路产生 5 级(或更高级)全部  $M$  序列, 将它们存贮在 ROM 中, 作为密码表; 再利用计算机产生一个随机地址码(在密码表范围内), 用它到密码表中取出一个  $M$  序列作为询问码, 将该码调制到激光器上发射出去; 接收机收到询问信号后, 对询问码作某种变换, 获得一个新的密码地址, 根据新地址取出另一个  $M$  序列作为应答码; 同时, 在发射机中也作相同的变换, 得到预计的回答码, 和实际收到的应答码相比较, 进行判别。

利用上面的方法, 可以实现每次询问-应答采用不同的密码, 码的随机性很大, 因而系统保密性也大大加强。

利用文献[6]提出的剪接筛法设计了一个产生全部 5 级  $M$  序列的电路单元图(图 5)。

图中的  $a_i$ 、 $b_i$  分别表示  $M$  序列状态图中相交的两条线, 即剪接首线和剪接尾线。 $i = 1, 2, 3$ , 分别表示第一、二、三层剪接。该电路的工作过程简介如下:

1) 当  $a_i$ 、 $b_i$  没有信号输入时, 三个层单元电路(layer unit)均不通。在时钟 CP 的作用下, 通过左边的非门(NOT)和与门(AND)及移位寄存器可产生 5 级本原  $M$  序列  $f$  的反馈函数。从而可在  $x_1$  端输出 5 级本原  $M$  序列  $f^{[5]}$ 。

2) 将  $f$  按文献[6]进行剪接, 在其状态图中可得到一组两两相交的相交线对  $(a_1, b_1)$ 。不同的相交线对,  $a_1$ 、 $b_1$  取不同的值, 从而可推导出不同的反馈函数。在电路中  $a_1$ 、 $b_1$  端输入上述值, 就可选择相应的小项(minterm)通过层单元和本原  $f$  相异或, 构成新的反馈函数, 从而  $x_1$  端输出一组经第一次剪接得到的  $M$  序列  $f_{a_1, b_1}$ 。

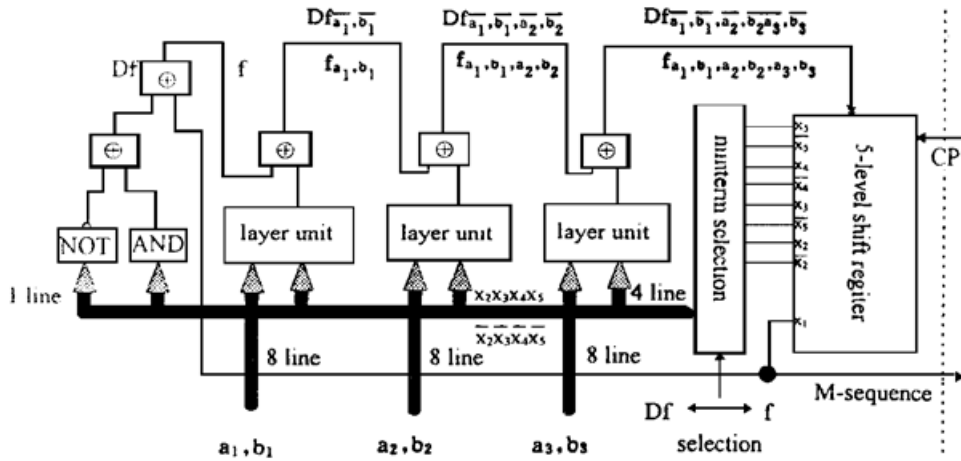


Fig. 5 Circuit unit producing all five-level M-sequence

3) 若保持  $a_1、b_1$  值不变, 对序列  $f_{a_1, b_1}$  进行剪接, 可得一组  $a_2、b_2$  的值。将其输入  $a_2、b_2$  端, 则第二个层单元导通并输出相应的小项, 和  $f_{a_1, b_1}$  异或后, 可从  $x_1$  端得到经第二层剪接的  $M$  序列  $f_{a_1, b_1, a_2, b_2}$ 。改变  $a_2、b_2$  的值, 重复第 3) 步, 直到所有的  $a_2、b_2$  都取遍。再改变  $a_1、b_1$  值, 重复上述工作, 直到所有的  $f_{a_1, b_1}$  都取遍, 可得全部第二层剪接的  $M$  序列。

4) 同样, 若  $a_1、b_1, a_2、b_2$  均保持不变, 将  $f_{a_1, b_1, a_2, b_2}$  进行剪接, 可得到一组  $a_3、b_3$  的值。将其值分别输入电路相应端, 产生一组经第三层剪接产生的  $M$  序列  $f_{a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3}$ 。

5) 经三层剪接后停止, 得到 1024 条 5 级  $M$  序列。将选择开关从  $f$  置向  $Df$ , 重复上述 1) ~ 4) 步, 可得到与前面 1024  $M$  序列相对偶的 1024 条  $M$  序列。至此, 全部 5 级  $M$  序列都产生了。

详细的关于  $M$  序列的剪接和产生电路请参阅文献[ 6]。

### 5 试验结果与结论

分两种情况对激光束编码的目标识别器进行了试验: 1) 将两识别器置实验大楼的楼道中, 相距约 50 m。此时由于楼内有各种仪器同时工作, 故电磁密度较大, 满足测试环境的要求。结果表明, 通过调节发射机的询问光束宽度(从 1 毫弧度到弧度可调), 系统能可靠地对正确的应答码作出响应, 对不正确的应答码拒绝响应, 识别率达 99%。2) 增大两识别器的距离, 即将两识别器分别置于相距  $265 \pm 0.5$  m 的两实验大楼内, 通过窗口进行询问-应答测试。当识别器的接收机中光学接收系统为简单小透镜时, 询问信号也难以被接收到。将小透镜换为广角鱼眼透镜, 以增大接收机的接收范围(此时接收范围可达  $180^\circ$ )。多次试验结果表明, 两识别器可实现互相询问和应答, 准确率可达 95% 以上。

通过多次测量询问机的信号发射指示和接收机的信号接收指示之间的时间差后, 统计平均表明, 识别系统的响应时间不到毫秒, 能够满足实际应用的要求。

从实验结果看, 激光目标识别器的抗干扰性、识别精度都较无线电目标识别方法有很大的提高。空-地方式的目标识别或空中交通管制, 能见度并不是主要因素, 不会对激光传播产生很大影响, 所以激光束编码目标识别在这方面有着广阔的应用前景。

## 考 参 文 献

- [ 1 ] Marvin N. Cohen, A survey of radar-based target recognition techniques. *Proc. SPIE*, 1991, **1470** : 233~ 242
- [ 2 ] Dan Boyle, The NATO identification system. *Interavia*, 1980, **3** : 201~ 205
- [ 3 ] Barbara Starr, Mistaken identity friendly fire and the problems of confirming targets. *International Defence Review*, 1991, **24**(12) : 1351~ 1352
- [ 4 ] 万哲先等, 非线性移位寄存器. 北京, 科学出版社, 1978 : 9~ 168
- [ 5 ] 万哲先等, 代数与编码. 北京, 科学出版社, 1976 : 199~ 316
- [ 6 ] 康庆德, GF(2)上 M 序列的构造方法. 通信学报, 1983, **10**(4) : 2~ 10
- [ 7 ] 朱近康, 扩展频谱通信及其应用. 合肥, 中国科技大学出版社, 1993 : 21~ 28

## High Resolution High Reliability Laser Beam Coding Target Recognition Technique

Shi Jianliang      Wang Zhixing      He Anzi

(*Department of Applied Physics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094*)

(Received 30 December 1995; revised 15 April 1996)

**Abstract** A cooperative target recognition technique based on laser beam coding is presented in this paper. As a result, the problems such as electromagnetic interference and garbling which exist in airwave target recognition can be solved. The recognition resolution can be improved and bit error rate can be reduced by this way. A laser modulated  $M$ -sequence coder is designed for target recognition system, thus recognition security and quality of Question and Answer signals can be increased greatly.

**Key words** target recognition, laser beam coding,  $M$ -sequence.