

提高激光报警分辨率的邻域相关技术研究

王海先

(华中光电技术研究所 武汉 430073)

提要 介绍了提高激光报警分辨率的新原理——邻域相关原理,结合研制的激光报警装置,阐述了邻域相关处理技术的有关内容。通过对激光报警装置进行的原理性接收试验,证明在光电管数量相同情况下,分辨率较原来提高了一倍,满足邻域相关处理技术的设计要求,达到了提高激光报警精度的目的。

关键词 激光报警,邻域相关,视场,峰值存贮,非饱和性

1 引 言

随着激光制导武器的发展,激光报警器已成为重要的军事装备和光电对抗的主要手段,并不断得到发展。光谱型光电二极管阵列式激光报警器以结构简单、技术成熟、成本低、有一定的波长识别能力等特点,得到广泛的应用。但这种类型的报警器分辨率较低,难以满足光电对抗高精度激光报警定位的要求。为改善光电二极管阵列式激光报警的分辨率,本人在研究这种类型的激光报警器原理的基础上,提出了邻域相关技术原理。该原理旨在改变光电二极管接收视场内重叠视场与独立视场的分配关系,使两相邻光电二极管同时接收的重叠视场与单管接收的独立视场由原来的均匀分配变为不均匀分配,重叠视场三倍于独立视场,然后再对重叠视场内接收到的激光能量,通过电路进行电压峰值比较,判断出两光电二极管之间的能量关系,从而把重叠视场细分成三个相等的分视场,达到提高分辨率的目的。根据该原理设计了一台激光报警装置,应用邻域相关处理技术进行了光学、结构、电路设计和整机调试,通过激光报警装置在室内进行的原理性接收试验,证明在光电二极管数量不变的情况下,分辨率较原来激光报警器提高一倍。

2 邻域相关技术原理

光电二极管阵列式激光报警器的分辨率主要是由光电二极管的数量决定的,为了避免视场接收死角,每两个相邻光电二极管的接收视场互相重叠,重叠视场等于单管独立接收视场,即每个光电二极管接收视场被均匀分成 3 等份,2 份为重叠视场,1 份为独立视场,每一份视场均代表着分辨率。光学接收视场的均匀分布见图 1。

分析图 1 可得出,分辨率与光电二极管数量及光学接收视场之间的关系为

已知
$$Q_{c1} = Q_{d1} \quad Q_{d1} = Q_{f1} \quad Q_{s1} = 3Q_{d1} \tag{1}$$

$$2Q_{f1} \times n = 360^\circ \quad Q_{f1} = 180^\circ/n \tag{2}$$

式中, $Q_{c1}, Q_{d1}, Q_{f1}, Q_{s1}$ 分别为光学接收视场均匀分配的重叠视场、独立视场、分辨率和光电二极管接收视场(单位均为 deg.), n 为圆周内光电二极管数量。

由式(2)可见,分辨率 Q_{f1} 与光电二极管数量 n 成反比, n 越大,分辨率 Q_{f1} 越小,灵敏度越高,然而光电二极管数量的增加受到成本和体积等因素的限制,因此难以用增加 n 的方法不断提高 Q_{f1} 。

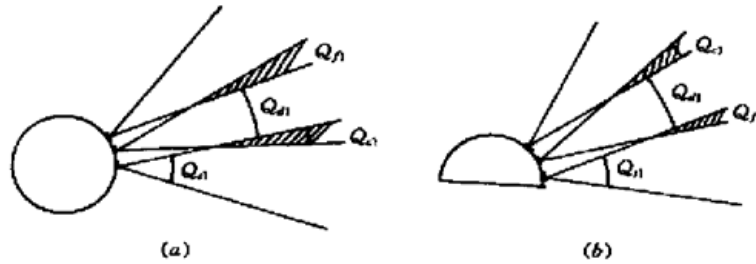


图 1 光学接收视场均匀分配图
(a) 方位视场分配; (b) 俯仰视场分配

Fig. 1 Uniform distribution of optics receiving field of view
(a) at azimuth angle direction; (b) at pitch angle direction

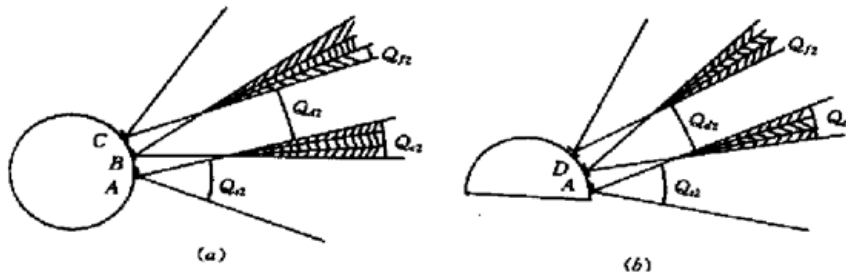


图 2 邻域相关光学接收视场分配图
(a) 方位视场分配; (b) 俯仰视场分配

Fig. 2 Distribution of optics receiving field of view of neighborhood related
(a) at azimuth angle direction; (b) at pitch angle direction

邻域相关技术原理在不改变光电二极管数量的情况下,只改变光学接收视场内的比例分配关系,使重叠视场与独立视场不相等,重叠视场三倍于独立视场,从而把光学接收视场均匀分成 7 份,6 份为重叠视场,1 份为独立视场,这种视场的不均匀分配见图 2。由图 2 可以看到,分辨率与光电二极管数量以及光学接收视场的关系为

已知
$$Q_{c2} = 3Q_{d2} \quad Q_{d2} = Q_{f2} \quad Q_{s2} = 2Q_{c2} + Q_{d2} = 7Q_{f2} \tag{3}$$

$$4 \times Q_{f2} \times n = 360^\circ \quad Q_{f2} = 360^\circ/(4 \times n) = 90^\circ/n \tag{4}$$

式中, $Q_{c2}, Q_{d2}, Q_{f2}, Q_{s2}$ 分别为邻域相关技术的重叠视场、独立视场、分辨率和光电二极管光学接收视场(单位均为 deg.)。

比较式(2)和式(4)比较可以看出,在光电二极管数量 n 相同的情况下,邻域相关技术的激光报警分辨率较原来提高一倍。

重叠视场内三个视场的划分是通过电路来实现的。当激光同时照射到两个光电二极管的重叠视场时,激光源的方位可能有三种情况: 1) 第一只光电二极管的能量大于第二只光电二

极管;2) 第一只光电二极管的能量等于第二只光电二极管;3) 第一只光电二极管的能量小于第二只光电二极管。由于激光能量的大小与电压信号峰值的大小相对应,因此能量的比较转变为电压峰值的比较。将光电转换后的电信号放大,进行峰值存贮和比较,通过比较两路电压信号峰值的大小,判断出两管之间的能量是大于、小于、还是等于,从而把重叠视场细分成三个分视场,对应着三个不同的方位,使分辨率得到提高。其中判断两管能量相等是相对的,有一个微小的变化和调整范围,即比较电路的灵敏度(可以通过理论计算和实验来确定,本实验取 0.3 V),改变灵敏度可以改变能量相等时所对应的视场大小。

3 邻域相关处理技术

根据邻域相关技术原理,设计了一台激光报警装置,该装置的探测空域为:方位 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$, 俯仰 $-7.5^{\circ} \sim 90^{\circ}$,方位分辨率 5° ,俯仰分辨率 5° 。

为研制和装调激光报警装置,应用邻域相关处理技术进行了光机电的设计,该技术主要有:邻域相关光学系统、邻域相关结构系统、峰值存贮比较电路、邻域相关调试方法等。

3.1 邻域相关技术的光学系统

光学系统在设备的最前端,直接截获接收探测视场内的激光辐射,将激光能量聚集到光电转换器的光敏面上,实现光信号变成电信号。

整个光学系统的布局见图 2,方位和俯仰的光学接收视场互相重叠,没有死角,形成半球空域的接收视场。光学分系统^[1]由滤光片、物镜、光阑、光电探测器等四部分组成,分别完成滤波、聚焦、限制视场、光电转换等功能。

由于激光报警装置要求的探测视场大,物镜多为短焦大视场的正透镜,物镜在焦面上成的像也较大,通过图 3^[1]可以看到,无穷远的边视场光线无渐晕地成像在焦面 AB 处,视场越大,则像 $2AB$ 越高,与之相对应的光电管光敏面也相应增大。根据图 3 可以得出

$$D_1 = 2f' \tan \omega \quad (5)$$

式中, D_1 为光电管光敏面直径(单位: mm), f' 为光学物镜的后焦距(单位: mm), ω 为半视场角

(单位: deg.)。由(5)式可得,当相对口径不太大, ω 较大时, D_1 值迅速增大,而大面积的光电二极管制造困难,成本高,目前国内较大的光敏面的直径为 $\phi 4$ mm。且大面积光电管接收噪声大,这样就存在着大视场与小光敏面的匹配问题。这里采用合理安排孔径光阑与视场光阑位置的方法,使系统既能满足大视场的要求,又能满足小光敏面的要求。由图 3 可见,把光电管光敏面顺着光轴,由焦点处向物镜方向移动,则视场光束主光线 BB 在光敏面上的投影越来越小,而轴上边缘光线在光敏面的投影高略有增加,当移动到 C 点时,两者投影高相等,此时,对于轴上光束无遮拦全部进入光电二极管,而对于视场光束遮拦达 50%。此时,接收到的光图像虽然不清晰,但不影响光的接收和能量大小的确定,激光报警可以不考虑光成像质量。由此可以得出,光敏面在焦点与主点(物镜主面)之间可以找到一个较为适合的位置,这个位置能较好地解决大视场与小光敏面相矛盾的问题。

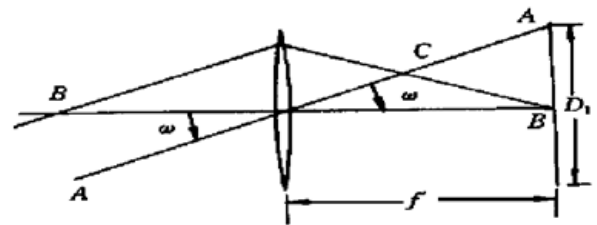


图 3 接收视场与光电二极管光敏面尺寸关系
Fig. 3 Relation of receiving field of view and size of photo-surface of photodiode

3.2 邻域相关处理技术的结构

邻域相关处理技术的结构主要完成探测头部光学系统的排列和定位。根据激光报警装置的技术指标要求,由公式(4)求出每一层圆周内光电二极管的数量, n 为 18 个,俯仰排列为 5 层,顶部 1 个,下面 4 层,即半圆内布置 9 个光电二极管,保证了俯仰探测的分辨率,激光报警探测头部结构见图 4。层与层之间,管与管之间夹角均为 20° ,第一层光电二极管与水平夹角为 10° ,见图 2(b),光电二极管按照经纬线的方式排成阵列,这种结构形式证明是可行的。

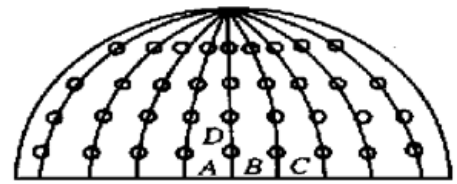


图 4 光电探测头部结构示意图
Fig.4 Diagram of structure of photo-electronic detector head

3.3 激光窄脉冲信号准峰值存贮电路

邻域相关处理技术的重叠视场划分,是通过两路信号的电压峰值比较实现的。然而一般的比较电路的响应时间难以响应激光窄脉冲信号(10 ns 左右),尤其是峰值电压的比较。因此,必须先对信号的峰值电压存贮后,再进行比较。

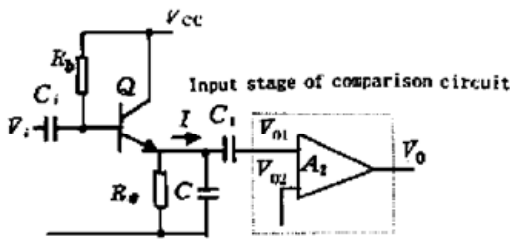


图 5 准峰值采样保持电路原理图

Fig.5 Block diagram of quasi-peak sample/hold circuit

峰值电压存贮可用采样保持电路完成,但能响应激光窄脉冲的高速采样保持集成电路为数极少,且价格昂贵,使用极不便。在总结了经典采样保持电路的基础上,研究设计了简单的准峰值采样保持电路,见图 5。

该电路由射随器、存贮电容和比较电路输入级组成。射随器具有电流极大、电压跟随、输入阻抗大、输出阻抗小等特点,正好满足高速采样保持电路的电流大、阻抗低、响应快(选用高频管)的要求。存贮电容 C 具有电荷保持功能,为保证响应速度,值要选得小一些。比较电路的输入级即是信号的输入,又对存贮的峰值电压有保持隔离作用。

对上述电路进行了窄脉冲信号的采样保持试验和整机激光接收试验,从测得的存贮波形和激光接收试验结果来看,电路具有峰值保持功能,满足了邻域相关处理技术对峰值存贮的要求。

3.4 邻域相关技术的调试方法

邻域相关处理技术调试法主要是根据其原理,结合室内调试实际,从四个方面考虑:

3.4.1 激光能量非饱和性的调试

激光能量的比较是在放大器输出不失真的前提下进行的。而激光报警的对象大多是激光目标指示器、激光测距仪等军用激光设备,这些设备多为 Nd·YAG 脉冲激光,功率在几~几十兆瓦之间,在室内做激光接收试验,距离近,能量强,要使器件不饱和并不被损坏,需对激光源的能量进行处理,降低输出功率。采用加衰减片的方法降低能量,根据计算公式和已知条件,求出应衰减的能量,然后在激光源的发射处加入相应分贝数的衰减片,调整衰减片的值,使放大器的输出波形不饱和。

3.4.2 激光能量均匀性的调试

由于衍射效应和工作物质(或腔)偏离理想情况,激光器所产生的激光束光强分布是不均

匀的^[2]。从 Nd·YAG 脉冲激光测距仪输出的激光束在感光纸上打出的光斑,可以清楚地看到这一点。随着距离变远,激光光斑的直径变大,光束的不均匀性减弱,能量的差别变小,因此,在远距离探测时,光斑的不均匀性可以忽略。但在近距离,光斑小,能量集中,这种能量的不均匀势必带来较大的影响,需对激光束的能量进行均匀化处理。

均匀化处理的过程主要是增加光束的多次反射和衍射,使其达到均匀。具体方法是采用磨砂毛玻璃反射法。将磨砂毛玻璃加在激光发射处,当光束通过毛玻璃时,产生多次反射和衍射,能量虽然有所降低,但光斑的均匀性得到了改善,电路的测试结果证明了这一点。

3.4.3 接收视场准确性的调试

光学接收视场的调试,由于缺乏检测视场大小的设备和手段,采用了实际测量的方法。直接用激光照射探测头部,转动方位角度,测出每一个光电二极管对应的接收视场。如与设计不符,进行调整,使之达到要求。

3.4.4 消除接收分系统综合误差的调试

激光报警器的光学系统是由众多光电接收分系统组成,要比较接收能量的大小,光学接收分系统本身的一致性就显得尤为重要。应首先做好以下工作:1) 精选电路用元器件,使量值一致。2) 电路调试参数要相同。3) 减小光学和结构加工装调误差。

虽然采取了上述措施,但仍存在着各零部件之间和各元器件之间离散参数造成的综合误差。因此,还要进行消除综合误差的调试。

根据光电二极管电流响应度^[3]可推得,输出电压等于响应度、接收光功率和负载电阻三者的乘积,当激光能量相等,响应度相同时,要使输出电压一致,只有改变负载电阻 R_e 值。因此,采用调整光电二极管负载电阻 R_e 的方法,消除了各种误差造成的影响。

4 邻域相关处理技术试验

激光报警装置装调后,在室内进行了激光报警装置分辨率的接收试验。激光源为 Nd·YAG 脉冲激光测距仪,固定不动,不断地发射激光,接收头部放在带有方位指示的旋转支架上,试验简图见图 6。缓慢转动支架,让激光照射到每一个光电二极管的接收视场,用发光二极管阵列来指示接收到激光信号,每只发光二极管代表一个 5° 视场,横向为方位视场,纵向为俯仰视场。记下每只发光二极管亮灭所对应的方位值,试验结果记录于表 1。

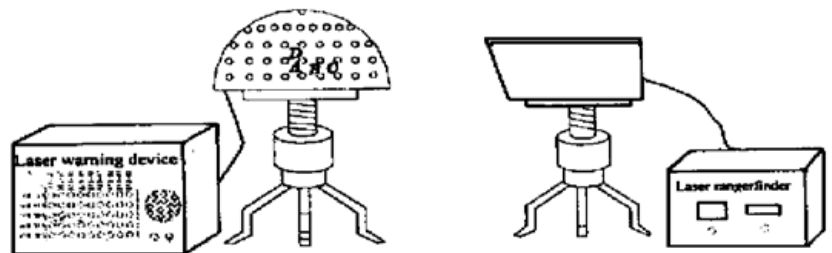


图 6 激光报警装置分辨率接收试验简图

Fig. 6 Experiment sketch of resolution factor field of view of laser warning device

在原理试验中仅做了 4 套光电接收分系统,它们的排列见图 2 和图 5 所示,其中三套做方位试验,分别为 A, B, C, 对应着 9 个分视场, A, C 两边的视场未重叠不为分辨率,其余均代表分辨率。两套做俯仰试验,分别为 A, D, 代表 5 个分视场。由于没有俯仰旋转指示装置,用测量方位的方法粗略地估测了俯仰分辨率,约为 5° 左右。

表 1 方位分辨率接收试验记录

Table 1 Record of azimuth resolution receiving experiment

No.	Azimuth angle	Photodiode	Angle of view	Error
1	236°~ 241°	A	21°	
2	241°~ 234°	A > B	7°	2°
3	234°~ 231°	A = B	3°	- 2°
4	231°~ 227°	A < B	4°	- 1°
5	227°~ 222°	B	5°	0°
6	222°~ 217°	B > C	5°	0°
7	217°~ 213°	B = C	4°	- 1°
8	213°~ 207°	B < C	6°	1°
9	207°~ 187°	C	20°	

5 结 论

通过邻域相关激光报警装置的研制和分辨率的室内接收试验证明:

1) 在不增加光电二极管的情况下, 激光报警分辨率能成倍地提高, 邻域相关技术原理是可行的。2) 邻域相关处理技术的光学设计、结构设计、电路设计、调试方法等技术是适用的, 实现了邻域相关技术原理的要求。

致谢 本研究曾得到华中光电技术研究所的叶艾、段滔、李宏章、李清秀等同志的帮助和支持, 谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 Li Hongzhang. Design consideration of laser radiation detection optical system. *Electro-Optics & Passive Countermeasures* (光电对抗与无源干扰), 1994, **36**(4): 1~ 7 (in Chinese)
- 2 Hao Guangxian, Lei Shizhan. Basic Laser Design. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1979. 1~ 18 (in Chinese)
- 3 Liu Shusheng, Wang Jingyi. Modern Optics Handbook. Beijing: Beijing Publishing House, 1993. 690~ 696 (in Chinese)

Study on Neighbourhood Corelation Technique to Improving Laser Warning Resolution

Wang Haixian

(Huazhong Research Institute of Electro-Optics, Wuhan 430074)

Abstract This paper introduces the new principle of neighborhood corelation technique used for improving the laser warning resolution based on the laser warning device developed. After the receiving test of laser warning device, it was proved that the resolution had been double improved without changing the number of photodiode. Therefore the design requirement of neighborhood corelation processing technique has been satisfied and the resolution of laser warning has been improved.

Key words laser warning, neighborhood corelation, resolution field of view, peak value store, combination logic, non-saturation