

文章编号: 1001-3806(2004)03-0278-03

## 一种激光方位角的判定方法

白晓明<sup>1</sup>, 周晓军<sup>1</sup>, 曾钦勇<sup>2</sup>, 罗彬彬<sup>1</sup>

(1. 电子科技大学 宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室, 成都 610054; 2. 西南技术物理研究所, 成都 610041)

**摘要:** 阐述了一种利用光学窗口阵列接收激光脉冲状态判断激光方位角的方法。这种方法避免了复杂的电路和复杂的计算。此外, 还阐述了利用光学窗口光强比和增加光学窗口数目提高系统精度的两种方法, 并比较了在不同光学窗口数目情形下, 光学窗口的透镜参数及可以达到的精度。通过这种方法, 可以用较少的光学窗口, 得到较高的角分辨率。

**关键词:** 光学窗口阵列; 方位角; 角分辨率; 视场范围

**中图分类号:** TN971; TN247 **文献标识码:** A

### Measurement method of azimuth angle for laser beam

BAI Xiao-ming<sup>1</sup>, ZHOU Xiao-jun<sup>1</sup>, ZENG Qin-yong<sup>2</sup>, LUO Bin-bin<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 2. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** A method to obtain the azimuth angle of laser is represented, which can avoid complex computation and complex electric circuit. Furthermore, two means to increase the angular resolution including utilizing laser beam intensity ratio and adding more sensors are described, and the relationship between the angular resolution and lens' parameters with different number of sensors is given. Based on this way, higher angular resolution can be obtained with fewer sensors.

**Key words:** sensor array; azimuth angle; angular resolution; field range

## 引 言

接收来袭激光的前端光学系统称为光学天线或光学窗口, 一般由光学透镜或棱镜组成。为了满足方位和俯仰覆盖范围的要求, 往往采用单个光学天线旋转扫描或多个固定天线组成阵列等侦收方案<sup>[1-3]</sup>。多个固定阵列天线侦收方案中的信号识别有常见的 2 种识别模式: 光纤时延编码方位识别模式和偏振编码方位识别模式<sup>[1-3]</sup>。在光纤时延编码方位识别模式中, 原有的方法是通过波形面积作权重对时间进行加权<sup>[1]</sup>, 这种方法存在着计算复杂, 对电子电路要求高等缺点。针对以上缺点, 作者叙述了一种利用接收到激光脉冲光学窗口个数计算激光方向角的方法, 这种方法电路简单, 计算简便。

## 1 工作原理

### 1.1 光学窗口阵列

光纤时延编码方位识别模式中用到的一种光学天线如图 1 所示。它的最高点设有一个光学中心传

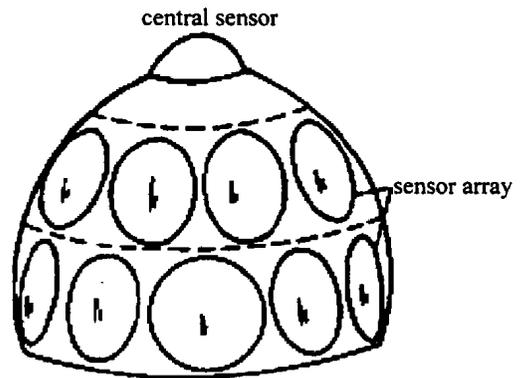


Fig. 1 Device of sensor array

感头, 余下半球设置有 36 个光学窗口, 分为上下两层各 18 个光学窗口, 每个光学窗口的视场是  $25^\circ$ , 使相互之间光学视场存在重叠, 可以消除探测死角。由于上下两层光学窗口均匀地规则排列, 所有光学

**作者简介:** 白晓明(1977-), 男, 硕士研究生, 主要从事光电对抗和光纤通信方面的研究工作。

E-mail: shuchuang@163.com

收稿日期: 2003-07-01; 收到修改稿日期: 2003-09-17

窗口在水平面投影也是规则排列。如图 2 所示的是部分窗口在水平面的投影图。

在图 2 中,  $f$  是光学窗口中心法线的投影, 在水

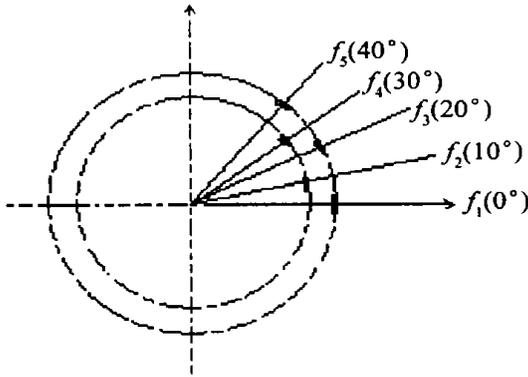


Fig. 2 Horizontal projection of device

平面等角度间距排列, 相邻光学窗口法线投影夹角为  $\theta = 10^\circ$ , 括号内数字是法线投影所在位置。

### 1.2 光学窗口接收到激光情况分析

由以上的分析, 对第  $n$  光学窗口, 中心法线投影位置在  $10n^\circ$ , 由于每个光学窗口的视场是  $25^\circ$ , 则它的视场范围是  $\varphi_n = (10n - 12.5^\circ, 10n + 12.5^\circ)$ 。因此, 第  $n-1, n+1, n+2$  光学窗口的视场范围分别是:

$$\begin{aligned} \varphi_{n-1} &= (10n - 22.5^\circ, 10n + 2.5^\circ) \\ \varphi_{n+1} &= (10n - 2.5^\circ, 10n + 22.5^\circ) \\ \varphi_{n+2} &= (10n + 7.5^\circ, 10n + 32.5^\circ) \end{aligned} \quad (1)$$

结合(1)式, 讨论在视场范围  $(10n + 2.5^\circ, 10n + 12.5^\circ)$  内, 光学窗口接收到激光情况, 它存在两种情况: (1) 当入射角  $\beta$  在  $(10n + 2.5^\circ, 10n + 7.5^\circ)$  内, 因为  $\beta_1 = \varphi_n \cap \varphi_{n+1}$ , 所以有 2 个光学窗口接收到激光, 2 个光学窗口编号分别为第  $n, n+1$ ; (2) 当入射角  $\beta$  在  $(10n + 7.5^\circ, 10n + 12.5^\circ)$  内, 因为  $\beta_2 = \varphi_n \cap \varphi_{n+1} \cap \varphi_{n+2}$ , 所以有 3 个光学窗口接收到激光, 3 个光学窗口编号分别为第  $n, n+1, n+2$ 。

由对称性知道, 光学窗口对整个视场都满足这个结论, 即在整個视场内所有光学窗口接收激光脉冲情况分为 2 种情况: 2 个光学窗口接收到激光或 3 个光学窗口接收到激光。利用这条原则, 就可以用较少的光学窗口达到相对较大的角分辨率。

## 2 激光入射方位角分析

由上面的分析, 把接收到激光的光学窗口分为两类, 相当于增加了光学窗口的数目来提高分辨率, 同时如果再利用相邻光学窗口接收到的脉冲幅值相对大小, 可以使精度进一步提高。

### 2.1 两个光学窗口情况

2 个光学窗口情况, 如图 3 所示, 第  $n, n+1$  光

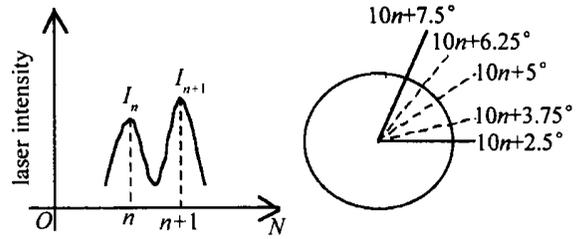


Fig. 3 Figure of two pulses and field range

学窗口接收到激光, 它的视场范围是  $(10n + 2.5^\circ, 10n + 7.5^\circ)$ , 此时, 可以判断激光方位角为  $10n + 5^\circ$ , 它的最大误差为  $2.5^\circ$ , 倘若能得到脉冲幅值  $I_n, I_{n+1}$  的相对大小进行判断, 精度可以进一步提高。

若  $I_n = I_{n+1}$ , 激光方位应在  $(10n + 2.5^\circ, 10n + 7.5^\circ)$  对称线上, 即  $10n + 5^\circ$ 。

若  $I_n > I_{n+1}$ , 方位应在  $(10n + 2.5^\circ, 10n + 5^\circ)$ , 判断其方位角为  $10n + 3.75^\circ$ , 此时的最大误差是  $1.25^\circ$ 。

若  $I_n < I_{n+1}$ , 方位应在  $(10n + 5^\circ, 10n + 7.5^\circ)$ , 判断其方位角为  $10n + 6.25^\circ$ , 此时的最大误差是  $1.25^\circ$ 。

### 2.2 3 个光学窗口的情况

如图 4 所示, 第  $n, n+1, n+2$  光学窗口接收到激光, 利用接收到激光的光学窗口序数, 可以判断,

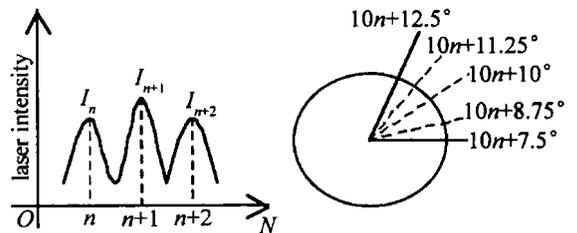


Fig. 4 Figure of three pulses and field range

其方位角范围是  $(10n + 7.5^\circ, 10n + 12.5^\circ)$ , 此时, 它的最大误差是  $2.5^\circ$ , 得到  $I_n, I_{n+1}$  相对大小进行判断可以得到:

若  $I_n = I_{n+2}$ , 方位角应在  $(10n + 7.5^\circ, 10n + 12.5^\circ)$  对称线上, 即其方位角为  $10n + 10^\circ$ 。

若  $I_n > I_{n+2}$ , 方位角应在  $(10n + 7.5^\circ, 10n + 10^\circ)$ , 判断其方位角为  $10n + 8.75^\circ$ , 此时的最大误差是  $1.25^\circ$ 。

若  $I_n < I_{n+2}$ , 方位角应在  $(10n + 10^\circ, 10n + 12.5^\circ)$ , 判断其方位角为  $10n + 11.25^\circ$ , 此时的最大误差是  $1.25^\circ$ 。

由上面可以看出, 判断光学窗口接收情况, 可以得到最大误差  $2.5^\circ$  的激光方位角, 如果利用两个光学窗口接收到的光强相对大小, 就可以得到最大误差  $1.25^\circ$  的激光方位角。这种只利用了脉冲的最大值, 相比于对整个脉冲波形进行面积积分加权相比,

计算更简单,对电路要求更低。

### 3 提高角分辨率方法

用上面的方法可以得到较高的精度,在需要更高精度时,有两种方法可以达到要求。

#### (1) 精确利用光学窗口的光强

如图5所示,  $f_n, f_{n+1}$  是第  $n, n+1$  两个光学窗口中心法线在平面投影,  $L$  是激光入射方向, 分别与两法线所成夹角为  $\theta_n, \theta_{n+1}$ ,  $\theta$  是两法线间的夹角, 在光学窗口形状相同的情况下, 两个光学窗口接收的光强是:

$$\begin{cases} I_{n+1} = I_0 S \cos \theta_{n+1} \\ I_n = I_0 S \cos \theta_n \end{cases} \quad (2)$$

$I_0$  是垂直  $L$  平面上单位面积接收的光强,  $S$  是光学窗口面积。

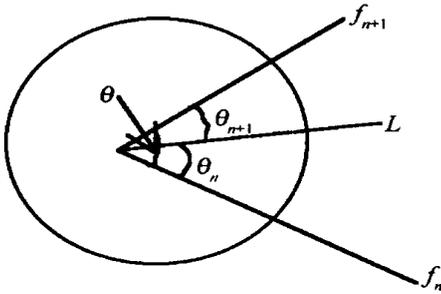


Fig.5 Sketch of sensors receiving laser

再由图有:  $\theta_{n+1} + \theta_n = \theta$  (3)

由(2)式、(3)式有:

$$\begin{cases} I_n \cos \theta_{n+1} - I_{n+1} \cos \theta_n = 0 \\ \theta_{n+1} + \theta_n = \theta \end{cases} \quad (4)$$

解出(4)式, 得到  $\theta_n = \tan^{-1} \left\{ \frac{I_{n+1}}{I_n \sin \theta} - \cot \theta \right\}$ , 所以,

$$\theta = 10n + \theta_n = 10n + \tan^{-1} \left\{ \frac{I_{n+1}}{I_n \sin \theta} - \cot \theta \right\} \quad (5)$$

由(5)式知, 在准确得到各个光学窗口接收到的光强大小比值的情况下, 可更加精确求出激光入射角。

(上接第247页)

#### 参 考 文 献

[1] BUSBRIDGE L., FULESTON D J. Laser obstacle avoidance and display system [J]. IEEE Naecon Dyton OH. USA, 1989, 1 (10): 179~186.

[2] FUST S, WERNER S, DICKMANN S *et al.* Landmark navigation and autonomous landing approach with obstacle detection for aircraft [J]. SPIE, 1997, 3088: 28~39.

[3] GLEICHMAN K, TCHORYK P, SAPSON R E. Application of laser radar to autonomous spacecraft landing [J]. SPIE, 1991, 1416: 286~

#### (2) 增加光学窗口数目

把接收到激光脉冲的光学窗口个数分成两种情况的方法, 可以使较少的光学窗口达到相对较大的角分辨率, 进一步, 对任意个数光学窗口的情况下要把光学窗口接收激光情况也分为两类就应该选择合理的透镜参数。经过计算,  $N$  个光学窗口阵列, 相邻光学窗口中心法线夹角  $360^\circ/N$ ; 每个光学窗口的视场  $2.5 \times 360^\circ/N$ , 就能实现这个要求(见表1)。

Table 1 Different number of lens' parameter and angular resolution

number of lens $N$	central normal position/ $^\circ$	field/ $^\circ$	angular resolution/ $^\circ$
36	10	25	$\pm 1.25$
45	8	20	$\pm 1$
48	7.5	18.75	$\pm 0.9375$

### 4 结束语

综上所述, 把接收到激光脉冲的光学窗口数目分成两类情况, 这样就可以以最少的光学窗口达到较高方位分辨精度的目的。同时, 这里用到两个光学窗口接收脉冲大小比较, 与对整个脉冲波形进行积分加权相比, 计算更简单, 对电路要求更低。

#### 参 考 文 献

[1] 王惠文. 光纤传感技术与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001. 185~200.

[2] HALLDORSSON T, MANHART S, SEIFFARTH E A. Laser detection device [P]. U S Patent: 4674874, 1987 06 23.

[3] POISEL H, TROMMER G. Laser warning sensor with frequency coded positioning formation [P]. U S Patent: 5025148, 1991 06 18.

[4] 付伟. 光纤前端激光告警系统 [J]. 红外与激光技术, 1995, 24(2): 17~23.

[5] 付伟. 对 MBB 公司激光告警系统的技术分析 [J]. 红外与激光工程, 1996, 25(1): 1~7.

[4] MCCADLESS J W, KAISER M K. Obstacle detection in air to air intrages [J]. SPIE, 1997, 3088: 40~49.

[5] BOHM H D V, HAISCH S. Helicopter obstacle warning presentation in an HMS/D including 3D stereoscopy [J]. SPIE, 1998, 3362: 32~44.

[6] ARMBRUSTER W, BERS K. Three-dimensional obstacle classification in laser range data [J]. SPIE, 1998, 3436: 475~483.

[7] ALVAREZ-BORREGO J. Some statistical properties of surface heights via remote sensing [J]. J Mod Opt, 1995, 42(2): 279~288.

[8] 杨春平, 吴健. 随机粗糙柱面的激光散射特性研究 [J]. 强激光与粒子束, 2001, 13(5): 520~524.