

·激光技术·

## 激光无源侦察定位技术研究

连 勇

(中国电子科技集团公司第二十七研究所, 郑州 450047)

**摘要:** 首先归纳了舰船激光无源侦察定位技术的军事需求, 然后分析海战场激光源技术特性, 介绍了无源测向交叉定位原理, 建立了激光无源测向交叉定位仿真模型。对测量子集 $(\varphi_1, \varepsilon_1, \varphi_2)$ 进行了仿真计算, 获得了激光无源定位距离及定位误差数据, 定位距离、单站测向精度、基线长度、布站策略相关性信息, 提出了激光无源定位工程应用要点, 对舰船激光无源侦察定位的工程实现有较好的指导意义。

**关键词:** 无源定位; 激光探测; 测向交叉定位; 定位误差

中图分类号: TN971.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2018)-02-0004-05

## Research on Laser Passive Reconnaissance and Location Technology

LIAN Yong

(The 27th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Zhengzhou 450047, China)

**Abstract:** At first, the military requirements of shipborne laser passive reconnaissance and location technology are summarized. And then, the technical characteristics of laser sources in sea battlefield are analyzed. The principle of passive direction finding cross-locating is introduced and the simulation model is established. The simulation calculation of measurement subset  $(\varphi_1, \varepsilon_1, \varphi_2)$  is performed to obtain laser passive location distance and error data, the correlation information of location distance, single station direction finding accuracy, baseline length and station distribution strategy. At last, the applications of laser passive location engineering are put forward, which has better guidance for the engineering realization of the shipborne laser passive reconnaissance and location.

**Key words:** passive location; laser detection; direction finding cross-locating; location error

在常规舰船电子战中,常用的无源侦察定位技术是通过测量雷达、通信等电磁波辐射源的参数,来确定对方辐射源及其携带平台或目标的位置。但是,随着军用激光技术的迅速发展,海面舰艇面临着日趋严重的激光威胁。先进的激光测距和激光雷达设备,以及激光制导的反舰武器,以其高精度使现代化的战舰防不胜防,海上日趋严重的激光威胁,推动了舰载激光对抗技术的发展<sup>[1]</sup>。

### 1 海战场激光特点分析

#### (1) 海战场激光源特点

典型海战场激光源是机载光电吊舱、隐身飞机内部的激光测距机和激光目标指示器。美国现役及在研的先进战机、无人机都配备了激光测距/目标指示设备,用于对海面及地面目标实施激光精确打击和侦察定位。如:美国舰载四代机 F-35C 的 MTS 系统,舰载无人机“火力侦察兵”搭载的 BRITE 星 II 吊舱, F/A-18、F-16 战机配备 AN/ASQ-228 高级瞄准前视红外(ATFLIR)吊舱、LANTIRN 光电吊舱等<sup>[3]</sup>。

依据国外公开资料,机载激光辐射源作用距离一般在 10~15 km 范围,激光波束发散角 0.2~2 mrad 左右,如美国的 LANTIRN 吊舱仅有 0.2 mrad。激光目标指示器作用是对目标持续稳定照射,引导激光

制导弹或炸弹沿着目标反射的激光回波路径攻击目标<sup>[4-5]</sup>。

## (2) 舰载激光告警特性分析

舰船激光告警设备大部分采用光谱探测体制,对激光信号探测最大离轴距离可达到200 m,大于一般战斗舰船的长度。激光告警测向精度目前最高可达到0.06<sup>ol6-7]</sup>。舰船激光无源侦察定位技术适用的基线长度在10~200 m范围,测向精度在0.05°~1°范围选取比较合理,在此条件下进行仿真分析。

## 2 基本原理

### 2.1 定位原理

无源测向定位工作原理如图1所示。

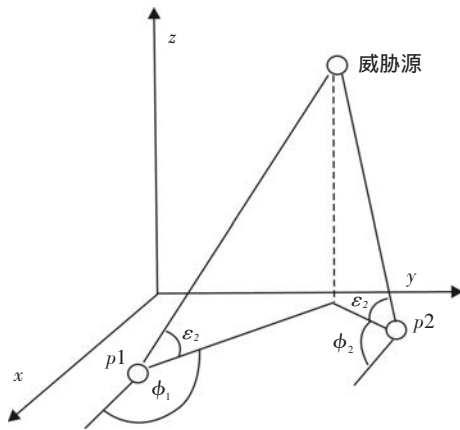


图1 激光测向定位原理图

通过两个观测点对( $P_1, P_2$ )位置的威胁源测向,其交叉点即为威胁源位置。根据两个观测点测得的威胁源方位和两观测点之间的距离,通过三角运算即可确定威胁源坐标。

图1中定位系统由主站 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ ,辅站 $P_2(x_2, y_2, z_2)$ 组成,分别对威胁源进行测向。 $P_1$ 站对目标的测量子集为 $(\varphi_1, \varepsilon_1)$ , $P_2$ 站对目标的测量子集为 $(\varphi_2, \varepsilon_2)$ 。其中 $\varphi$ 为方位角, $\varepsilon$ 为俯仰角。在实际工程应用中,激光告警器通常测量的方位角精度较高,因此选取测量子集 $(\varphi_1, \varepsilon_1, \varphi_2)$ 进行仿真分析。

由三角公式可以得出下式

$$\begin{aligned} -x \tan \varphi_1 + y &= y_1 - x_1 \tan \varphi_1 \\ y \tan \varepsilon_1 - z \sin \varphi_1 &= y_1 \tan \varepsilon_1 - z_1 \sin \varphi_1 \\ -x \tan \varphi_2 + y &= y_2 - x_2 \tan \varphi_2 \end{aligned} \quad (1)$$

将上述三个方程表示成矩阵形式简化表示为

$$EX = F \quad (2)$$

其中,

$$E = \begin{bmatrix} -\tan \varphi_1 & 1 & 0 \\ 0 & \tan \varepsilon_1 & -\sin \varphi_1 \\ -\tan \varphi_2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} y_1 - x_1 \tan \varphi_1 \\ y_1 \tan \varepsilon_1 - z_1 \sin \varphi_1 \\ y_2 - x_2 \tan \varphi_2 \end{bmatrix}$$

可得目标坐标为

$$X = E^{-1} \cdot F \quad (3)$$

### 2.2 定位误差

用GDOP来描述定位误差的几何分布,即

$$GDOP = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2} \quad (4)$$

式中, $\delta x, \delta y, \delta z$ 分别表示 $x, y, z$ 三个方向上的定位误差。选取测量子集 $(\varphi_1, \varepsilon_1, \varphi_2)$ 。通过对这三个角度的定义式两边求微分后进行化简,写成矩阵的形式可表示如下

$$dV = CdX + dX_s \quad (5)$$

其中, $dV$ 为测量误差; $dX_s$ 为布站误差; $dX$ 为定位误差。

通过推导,定位误差协方差矩阵为

$$P = E[dX \cdot dX^T] = C^{-1} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 + \frac{\sigma_s^2}{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_s^2 + \frac{\sigma_s^2}{r_1^2} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_s^2 + \frac{\sigma_s^2}{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} \end{bmatrix} C^{-T} \quad (6)$$

定位精度的几何稀释GDOP表示为

$$GDOP = \sqrt{P(1,1) + P(2,2) + P(3,3)} \quad (7)$$

## 3 仿真计算

### 3.1 基线长度、测向精度与定位距离的关系

海战场反舰武器末端攻击高度一般采用低空掠海攻击。仿真中选取目标高度选取50 m,基线长度10~200 m,布站误差 $R_s$ 为0.1 m,测向精度选取0.05°、0.1°、0.5°及1°四种数值。通过仿真计算,获取了不同基线长度、测向精度下定位距离及误差值,见表1。基线长度与有效定位距离的关系见图2。

表1 不同基线长度、测向精度条件下定位距离及误差

| 基线长度/m | 0.05°    |        | 0.1°     |        | 0.5°     |        | 1°       |        | 备注   |
|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|------|
|        | 有效定位距离/m | 定位误差/m | 有效定位距离/m | 定位误差/m | 有效定位距离/m | 定位误差/m | 有效定位距离/m | 定位误差/m |      |
| 10     | 11 460   | 20     | 5 730    | 19     | 1 150    | 24     | 570      | 22     | 垂线方向 |
| 30     | 34 380   | 60     | 17 190   | 57     | 3 440    | 72     | 1 720    | 66     |      |
| 50     | 57 300   | 100    | 28 650   | 95     | 5 730    | 120    | 2 860    | 105    |      |
| 70     | 80 210   | 140    | 40 110   | 133    | 8 020    | 168    | 4 010    | 150    |      |
| 100    | 114 590  | 200    | 57 300   | 190    | 11 460   | 240    | 5 730    | 220    |      |
| 130    | 148 970  | 260    | 74 480   | 247    | 14 900   | 312    | 7 450    | 265    |      |
| 150    | 171 890  | 300    | 85 940   | 285    | 17 190   | 360    | 8 590    | 320    |      |
| 180    | 206 260  | 360    | 103 130  | 342    | 20 630   | 402    | 10 310   | 370    |      |
| 200    | 229 180  | 400    | 114 590  | 380    | 22 920   | 460    | 11 460   | 420    |      |

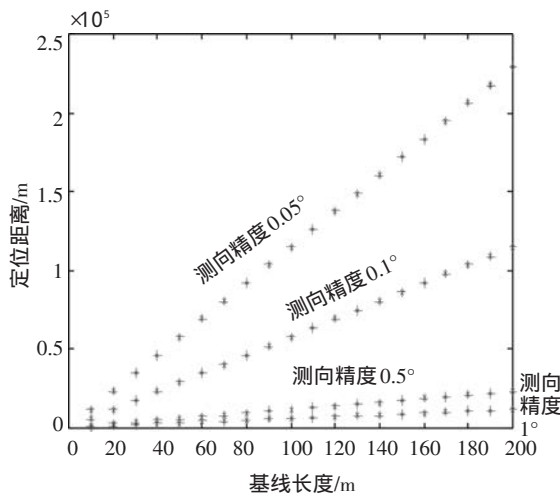


图2 基线长度与有效定位距离的关系

通过分析可以得出,基线越长,有效定位距离越远;测向精度越高,有效定位距离越远。依据作

战距离不小于 10 km 指标分析,当测向精度为 0.05° 时,基线长度 10 m,激光无源定位距离就达到 11 km;测向精度为 0.1° 时,基线长度 30 m 定位距离 17 km;测向精度为 0.5° 时,基线长度应不小于 100 m。而测向精度为 1° 时,则基线长度至少在 180 m,才能够满足激光无源测向定位需求。

由此可以得出,当测向精度低于 0.5° 后,受制于舰船平台长度及甲板建筑布局,装舰难度显著增大,适装性较差。测向精度 0.05°~0.1° 之间,能满足定位作战需求,基线在 10~30 m,有优异的装舰适装性,可以满足大部分舰船的安装。

### 3.2 基线长度与定位误差的关系

选取 10 m、40 m、80 m 和 200 m 基线进行仿真分析,结果见图 3。

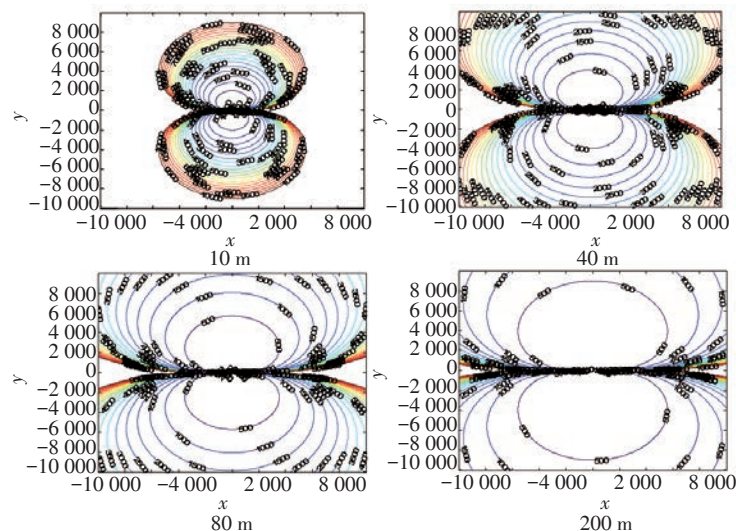


图3 不同基线的定位误差等高线图

可以发现,基线越长,定位区域显著扩大,定位误差大幅减小。基线长度对定位误差影响非常大,因此在工程应用中,应依据现场环境,尽可能加大基线长度,提升定位能力。

### 3.3 布站精度与定位误差的关系

选取0.05 m、0.5 m、5 m和10 m布站精度进行仿真分析,见图4。

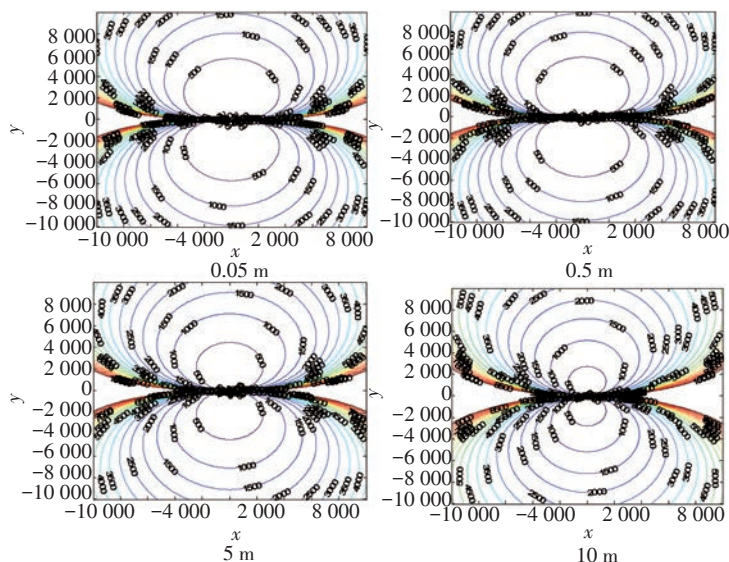


图4 不同布站精度的定位误差等高线图

可以发现,当布站精度下降时,系统定位精度也随之下降,但下降趋势不明显,说明通过提高布站精度能够提高无源定位精度,但是提升能力有限。

### 3.4 测向精度与定位误差的关系

见图5,从0.05°、0.1°、0.5°及1°测向精度下定位误差等高线图。

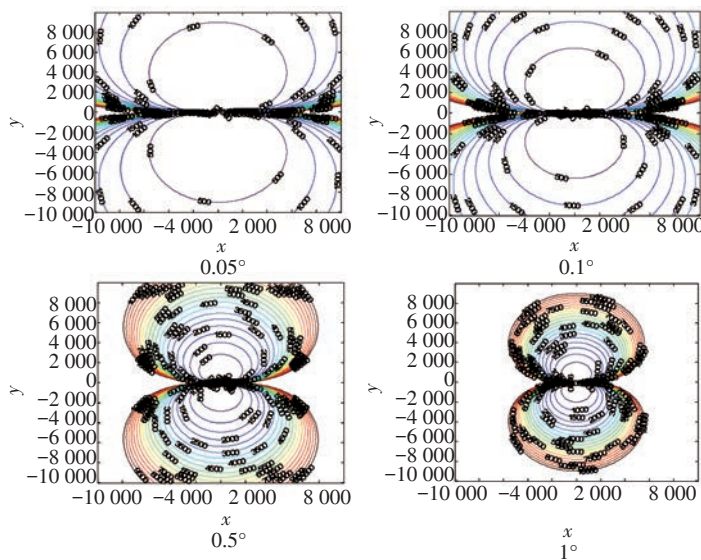


图5 不同测向精度的定位误差等高线图

可以看出,测向精度降低,则定位误差不断加大,有效定位区域大幅缩小。测向精度对系统定位

误差产生了重要影响,远大于布站误差,是减小系统定位误差的核心因素。

## 4 工程应用分析

通过仿真分析,激光无源侦察定位在舰船平台应用中,需重点考虑以下几点:

### (1) 提高测向精度,保证系统定位能力

通过3.2~3.3节仿真分析,基线长度、测向精度是影响定位误差的两个重要因素。但是,由图2可知,相同定位距离条件下,提高测向精度可大幅降低对定位基线长度的需求,因此,在总体设计中,选用高精度测向技术提升无源测向定位能力是重点考虑因素。

### (2) 结合舰船设计布局,合理选择基线长度

在第3.1节分析中,可以看出,在测向精度一定条件下,随着基线加长,定位能力越强,最远可达百公里级,远大于10~20 km量级的激光源作用距离。但也带来两个问题,首先,基线越长,受激光波束能量高斯分布特性影响,基站处信号衰减很大,探测概率、测向精度等指标变差;其次,舰船平台甲板上层建筑较多,过长的基线要求,基站装舰适装性降低。因此,依据舰船平台特点、合理选取基线长度,是工程应用中考虑的第二要素。

### (3) 提高布站测量精度,避免增加系统误差

利用精密光学测量仪器,在数百米范围内,可将布站测量误差控制在0.05 m以下,甚至优于0.01 m。工程应用中,提高布站精度,可以有效保证系统定位误差。

## 5 结论

通过以上分析,舰船激光无源侦察定位有着较

好的军事需求,利用无源测向交叉定位技术,当测向精度达到0.05°量级时,定位能力、舰船适装性都能够很好的满足舰船电子战的激光对抗应用需求,因此,开展舰船无源侦察定位工程应用有重要的军事意义。

## 参考文献

- [1] 孙仲康,周一宇,何黎星. 单多基地有源无源定位技术[M]. 北京:国防工业出版社,1996.
- [2] 李海浩,李海涛,李宏海,等. 舰载烟幕干扰发射机动决策仿真[J]. 水雷与舰船防护,2008(2).
- [3] 刘洵,王国华,毛大鹏,等. 战斗机瞄准吊舱的新进展\_下\_美军装备新型和改型瞄准吊舱[J]. 中国光学与应用光学,2009(4).
- [4] 侯作凤,郎建华. 基于变背景自适应远距离激光测距接收电路设计[J]. 光电技术应用,2018,33(1):36-40.
- [5] 曾宪林,李翔. 机载激光目标指示器发展综述[J]. 激光与红外,2000(2).
- [6] 付小宁,王炳健,王荻. 光电定位与光电对抗[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
- [7] 宁天夫. 激光侦察告警技术的装备概况与发展[J]. 红外与激光工程,2008(5).
- [8] 高俊光,车进喜,韩新文,等. 激光侦察装备综合作战效能评估模型[J]. 光学与光电技术,2011,9(1):21-23.
- [9] 乔亚. 激光主动侦察技术研究[J]. 光电技术应用,2005,20(3):22-24.
- [10] 张月,王睿. 光电探测器脉冲相关噪声增强效应研究[J]. 光电技术应用,2018,33(1):24-29.

## 《光电技术应用》期刊收录情况介绍

《光电技术应用》期刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊。期刊的影响因子连续几年上升,2015年、2016年、2017年连续3年入选《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊。

已与万方数据库签订合同,可以及时同步查询论文内容。