

基于红外侦察告警系统的三站被动测距方法分析

王 东, 成 斌, 梁冬明, 王 冰, 张岩岫
(中国人民解放军 63891 部队, 河南 洛阳 471003)

摘 要:介绍了红外侦察告警系统被动测距原理, 针对双站被动测距方法的局限性, 研究了三站被动测距方法。结合实际应用需要, 分析了影响该测距算法测距精度的因素, 并给出误差计算公式。给定条件下计算机仿真结果表明, 三站被动测距具有很好的实用性, 可实现对目标 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 全方位高精度测距。

关键词: 红外侦察告警系统; 被动测距; 算法; 精度; 仿真

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.06.011

Passive range measurement based on triple-stationIRST system

WANG Dong, CHENG Bin, LIANG Dong-ming, WANG Bing, ZHANG Yan-xiu
(Unit 63891 of PLA, Luoyang 471003, China)

Abstract: The principle of passive range measurement based on IRST system is presented. Aiming at the limitation of double-station IRST system, a passive range measurement with triple-station IRST system is introduced. Combining with actual application, the algorithm measurement precision is analyzed, and the error formula is given. The simulation results show that the passive range measurement with triple-station IRST system has good practicality, which could complete fine ranging from 0° to 360° .

Key words: IRST system; passive ranging measurement; algorithm; precision; simulation

1 引 言

随着光电对抗技术的迅速发展及其在现代战争中的广泛使用, 作战双方对武器系统的隐蔽性要求越来越高。红外侦察告警系统以探测范围广、定位精度高、隐蔽性好、抗干扰能力强及作用距离远等特点, 目前已成为对军事目标告警的主要技术手段^[1-3]。但是由于红外侦察告警系统难以获得目标的距离信息, 不能直接对目标定位, 使其光电对抗效能受到限制, 因此, 被动测距技术成为红外侦察告警系统的关键技术之一。

近年来, 有关红外侦察告警系统被动测距的研究已有不少报道^[4-7]。文献[5]、[6]分别研究了基于红外侦察告警系统的双站被动测距算法, 并对该算法进行了定位精度分析, 给出了该算法适用的有效测距范围。作者在文献[4]中基于实际作战使用

提出了一种新的双站被动测距算法, 并进行了测距精度误差分析及计算机仿真。然而, 双站被动测距最大有效测距距离极大依赖于目标与站点的方位角, 小角度情况下最大有效测距距离相对较短, 很大程度限制了其应用, 所以有必要对多站被动测距方法进行研究。文献[7]研究了三站红外侦察告警系统被动测距方法, 本文基于双站被动测距方法, 给出了红外侦察告警系统三站被动测距算法, 并对测距算法进行了定位精度误差分析及计算机仿真。

2 被动测距算法

作者在文献[4]中给出了双站被动测距距离计算公式:

作者简介: 王 东(1978-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为光电技术应用。E-mail: wd_hardman@163.com

收稿日期: 2012-11-05; 修订日期: 2012-11-16

$$L_1 = \frac{d \sin(\alpha_2 - \alpha_3) \cos \beta_3}{\cos \beta_1 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (1)$$

依据文献[4]中的分析方法,三站被动测距分析过程中,为了简化计算过程,仅讨论三个站点均在同一平面上的情况。如图1所示: $O(X, Y, Z)$ 成右手坐标系,且 Y 轴方向指北。 A, B, C 分别为三个站点位置, A 站点为主站,假定各站点均在 XOY 平面上,且 ABC 为等边三角形。以 A 站点为坐标原点, B 站点位于 X 轴上, A, B 站点距离为 d, C 站点坐标为 $C(d/2, d\sqrt{3}/2, 0)$ 。目标 D 坐标为 $D(x, y, z), D'$ 为目标 D 在 XOY 平面的投影。 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 分别为目标 D 相对 A, B, C 站点的方位角, $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 分别为目标 D 相对 A, B, C 站点的俯仰角。

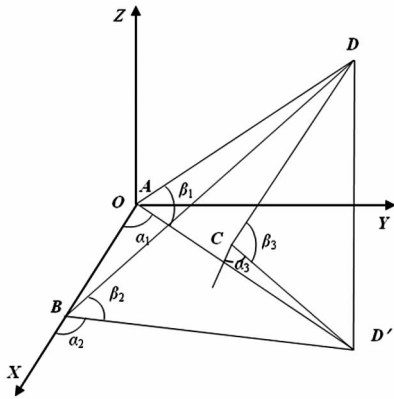


图1 被动测距示意图

Fig. 1 sketch map of passive ranging measurement

从图1中的相对位置关系可以得到,由 A, B 站点测得的目标 D 与 A, B 站点的距离分别为:

$$R_1 = \frac{d \sin \alpha_2}{\cos \beta_1 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (2)$$

$$R_2 = \frac{d \sin \alpha_1}{\cos \beta_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (3)$$

由 A, C 站点测得的目标 D 与 A, C 站点的距离分别为:

$$R'_1 = \frac{d \sin(\alpha_3 - \frac{\pi}{3})}{\cos \beta_1 \sin(\alpha_3 - \alpha_1)} \quad (4)$$

$$R_3 = \frac{d \sin(\alpha_1 - \frac{\pi}{3})}{\cos \beta_3 \sin(\alpha_3 - \alpha_1)} \quad (5)$$

由 B, C 站点测得的目标 D 与 B, C 站点的距离分别为:

$$R'_2 = \frac{d \sin(\alpha_3 + \frac{\pi}{3})}{\cos \beta_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_3)} \quad (6)$$

$$R'_3 = \frac{d \sin(\frac{2\pi}{3} - \alpha_2)}{\cos \beta_3 \sin(\alpha_2 - \alpha_3)} \quad (7)$$

3 算法测距精度分析

利用上述被动测距算法对目标 D 进行测距时,产生误差的因素主要包括:

(1)各站点红外侦察告警系统测量目标 D 的方位角和俯仰角时产生的定向误差 $\delta(\alpha)$ 和 $\delta(\beta)$;

(2)各站点间红外侦察告警系统测量相互定位时产生的定向误差 $\delta(\alpha')$ 和 $\delta(\beta')$;

(3)红外侦察告警系统定位方位零时产生的指北误差 $\delta(\eta)$;

(4)红外侦察告警系统定位水平方向时产生的调平误差 $\delta(\gamma)$ 。

另外,在实际应用过程中,红外侦察告警系统自身全景搜索时间的差异及对目标告警时间上的延迟,也会产生误差。经分析可知此误差时间不大于系统自身全景搜索时间的一半。

由此可以得出被动测距目标距离式(2)、式(4)、式(6)的相对误差分别为:

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\cos(\alpha_2 - \alpha_1)}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}(\delta\alpha_1 + \delta\eta_1) - \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)}(\delta\alpha_2 + \delta\eta_2) + \frac{\sin\beta_1}{\cos\beta_1}(\delta\beta_1 + \delta\gamma_1) \quad (8)$$

$$\frac{\Delta R'_1}{R'_1} = \frac{\cos(\alpha_3 - \alpha_1)}{\sin(\alpha_3 - \alpha_1)}(\delta\alpha_1 + \delta\eta_1) - \frac{\sin(\alpha_1 - \frac{\pi}{3})}{\sin(\alpha_3 - \frac{\pi}{3}) \alpha_3 \sin(\alpha_3 - \alpha_1)}(\delta\alpha_2 + \delta\eta_2) + \frac{\sin\beta_1}{\cos\beta_1}(\delta\beta_1 + \delta\gamma_1) \quad (9)$$

$$\frac{\Delta R'_2}{R'_2} = \frac{\cos(\alpha_2 - \alpha_3)}{\sin(\alpha_2 - \alpha_3)}(\delta\alpha_2 + \delta\eta_2) - \frac{\sin(\alpha_2 + \frac{\pi}{3})}{\sin(\alpha_3 + \frac{\pi}{3}) \sin(\alpha_2 - \alpha_3)}(\delta\alpha_3 + \delta\eta_3) + \frac{\sin\beta_2}{\cos\beta_2}(\delta\beta_2 + \delta\gamma_2) \quad (10)$$

4 仿真及讨论

在图1中令 A, B 站点与 D' 点的距离分别为 l, l_1 ,从图中可以看出 $\sin\alpha_1 = y/l, \cos\alpha_1 = x/l, \sin\beta_1 = z/R_1, \cos\beta_1 = l/R_1, \sin\alpha_2 = y/l_1, \cos\alpha_2 = (x-d)/l_1,$

$\sin\beta_2 = z/R_2, \cos\beta_2 = l_1/R_2, \tan\alpha_2 = y/(x - d),$
 $\tan\alpha_3 = [y - d\sin(\pi/3)]/[x - d\cos(\pi/3)]$ 。利用
 式(8)~式(10)分别对测距算法进行仿真分析,假
 定被测目标高度 z 为 5 km,红外告警设备精度为,
 方位角: ± 1.5 mrad;俯仰角: ± 1.5 mrad;指北精度
 0.1° ;调平误差精度 0.02° 。

图 2 为测距相对误差值取 10%,站点间距 d 为
 1.0 km 的条件下,分别由 A,B 站点、A,C 站点、B,C
 站点测得的目标最大有效测距距离(在某一方位,
 给定相对误差条件下,双站被动测距理论上可以测
 到的最远有效距离)随方位角变化的仿真结果。从
 图 2 可以看出,由上述站点组测得的目标最大有效
 测距距离,分别在 $90^\circ, 150^\circ, 30^\circ$ 附近取到最大
 值,此方向接近各站组连线的垂直方向。随着方位
 角向最大值方向两侧偏离,有效测距距离逐渐下
 降。可见若仅采用双站对目标进行测距,小角度
 情况下最大有效测距距离会显著下降,测距效果
 显然不理想,其应用将受到极大的限制。

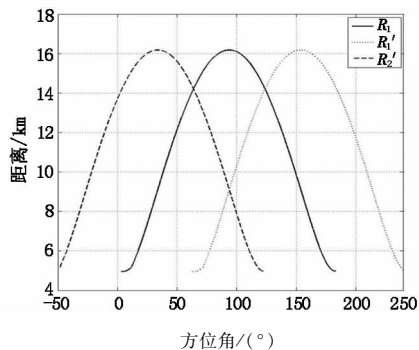


图 2 双站测距仿真结果图

Fig. 2 passive ranging result of double-station simulating

若采用三站联合对目标进行测距,侦察到目标
 后,测距时首先根据目标方位角判断其相对于各站
 点的位置,依据图 2 的分析结果,解算出测距误差最
 小的两个测距站点,由此站点组对目标进行测距。
 这样无论目标出现在哪个方向,均不会出现双站测
 距中的小角度测距效果不理想的情况,可大幅提高
 目标测距精度。

图 3 为站点间距 d 分别取 0.5 km, 1.0 km,
 1.5 km, 2.0 km 条件下,三站测距最大有效测距距
 离随方位角变化的仿真结果,其中图 3(a)为相对误
 差取 8% 的仿真曲线,图 3(b)为相对误差取 15% 和
 的仿真曲线。由于空间的对称性,这里仅给出方位
 角在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 的结果。

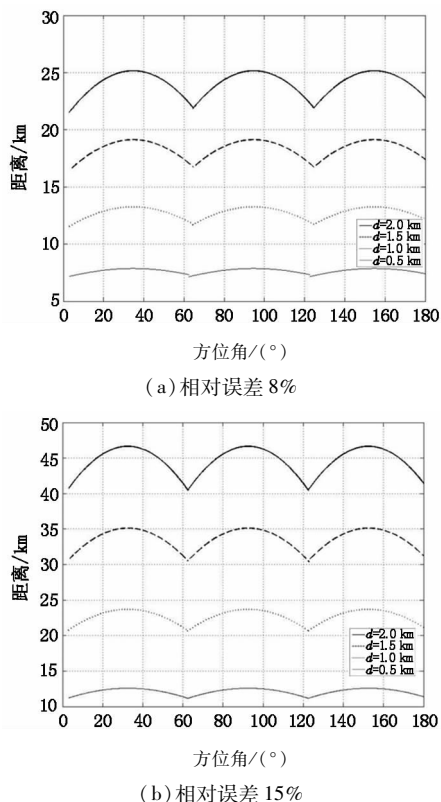


图 3 三站测距仿真结果图

Fig. 3 passive ranging result of triple-station simulating

由图 3 可以得出如下结论:

- (1) 在方位角不变的情况下,随着站点间距的增大,红外侦察告警系统三站有效测距距离随之增大;
- (2) 在站点间距不变的情况下,随着测距误差的增大,红外侦察告警系统三站有效测距距离随之增大;
- (3) 方位角在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内,相对误差为 8%,站点间距 d 分别为 0.5 km, 1.0 km, 1.5 km, 2.0 km 时,最大有效测距距离分别不小于 7.2 km, 11.7 km, 16.7 km, 21.9 km;相对误差为 15%,站点间距 d 分别为 0.5 km, 1.0 km, 1.5 km, 2.0 km 时,最大有效测距距离分别不小于 11.2 km, 20.6 km, 30.5 km, 40.4 km,可见红外侦察告警系统三站被动有效测距距离在小角度方位较双站被动测距有了大幅度的提高。

5 结束语

本文给出了红外侦察告警系统三站被动测距算
 法,并对测距算法进行了定位精度误差分析。仿真
 结果表明,最大有效测距距离和方位角、站点距离有
 很大关系,同时,采用三站联合测距的方法,解决
 了双站测距受方位角影响应用受限的缺点。实际应

中,合理设置站点间距,可实现 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 全方位、远距离、高精度被动测距。

参考文献:

- [1] Cheng Bing, Zhao Wei, Yang Baoqing, et al. Test for electro-optical countermeasure equipment [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005: 179 - 187. (in Chinese)
成斌, 赵威, 杨宝庆, 等. 光电对抗装备试验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 179 - 187.
- [2] Liu Zhichun, Yuan Wen, Su Zhen. Equipment and development tendency of the electro-optical warning reconnaissance technology [J]. Laser & Infrared, 2008, 38 (7): 629 - 632. (in Chinese)
刘志春, 袁文, 苏震. 光电侦察告警技术的装备与发展[J]. 激光与红外, 2008, 38(7): 629 - 632.
- [3] Chen Youhua, Wang Danfeng, Chen Yuanyuan. Progress and prospect of optoelectronic technology in passive range sensing [J]. Journal of North University of China, 2011, 32(4): 518 - 522. (in Chinese)
陈友华, 王丹凤, 陈媛媛. 光电被动测距技术进展与展望[J]. 中北大学学报, 2011, 32(4): 518 - 522.
- [4] Wang Dong, Zhou Qingming, Zhang Peng, et al. Analysis on passive ranging measurement ofIRST systems [J]. Infrared Technology, 2010, 32 (8): 440 - 442. (in Chinese)
王东, 周清明, 张鹏, 等. 红外告警系统被动测距方法分析[J]. 红外技术, 2010, 32(8): 440 - 442.
- [5] Chen Zhenfei. Precision analysis for double observation station ofIRST systems used for passive ranging [J]. Science Technology and Engineering, 2007, 7 (5): 842 - 844. (in Chinese)
陈振飞. 红外探测系统双站被动测距精度分析[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(5): 842 - 844.
- [6] Li Tingjun, He Youjin, Song Lihong, et al. Discussion of localizing method of target for IR alarm equipment [J]. Modern Electronics Technique, 2002, (4): 61 - 63. (in Chinese)
李廷军, 何有金, 宋立宏, 等. 红外告警器应用研究[J]. 现代电子技术, 2002, (4): 61 - 63.
- [7] Wu Jianfei, Li Fanming. Passive ranging through triple-stationIRST system [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(4): 560 - 564. (in Chinese)
吴健飞, 李范鸣. 三站红外告警系统被动测距方法[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(4): 560 - 564.