

一种水下三维被动定位技术*

魏玉华¹ 陈新华^{2†} 余华兵² 卫翀华²

(1 海军驻北京地区武器装备军事代表室 北京 100084)

(2 中国科学院声学研究所 北京 100190)

摘要 本文给出了一种三维被动定位方法。该方法利用三元水平阵和二元垂直阵实现对目标的三维定位。由三元水平阵首先求得目标斜距和目标方位,在此基础上利用垂直阵估计目标深度坐标,最后综合已有测量结果来求解目标水平坐标。本文还通过仿真分析了该方法的定位性能。

关键词 三维定位, 被动定位, 深度估计

A method for underwater 3-D passive localization

WEI Yu-Hua¹ CHEN Xin-Hua² YU Hua-Bing² WEI Chong-Hua²

(1 Beijing Military Affairs of PLA Navy, Beijing 100084)

(2 Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract A method to 3-D passive localization is presented. Localization of the target is realized using 3-element horizontal array and 2-element vertical array. Firstly, we estimate the slanting distance and the azimuth of the target by the horizontal array, from which quantities we can get the depth of the target by the vertical array. Lastly, we solve for the horizontal coordinate on synthesizing the existing results. The simulation results analyse the localization performance of the method.

Key words 3-D localization, Passive localization, Depth estimation

1 引言

在雷达和声纳领域中,被动定位一直是研究热点问题之一。由于目标未装有合作信标,被动定位一般通过测量目标辐射噪声到空间不同位置接收点的时延差,采用双曲面交汇原理实现。水声信道是一时变、空变的复杂信

道^[1],当接收阵孔径较大时,各基元接收信号相关性减小,影响时延差的估计精度,从而导致定位性能降低,这种情况下一般采用方位交汇原理对目标进行定位,各基元(或基阵)独立地测量目标相对于基元的方位。上述方法一般是在水平面进行布阵,针对水平坐标的测量,其三维坐标定位误差很大。在某些应用中,

2007-11-02 收稿; 2008-03-31 定稿

* 国家自然科学基金资助(60532040)

作者简介:魏玉华(1966-),男,山东胶南人,工程师,研究方向:水声信号处理。

陈新华(1978-),男,副研究员。余华兵(1975-),男,副研究员。卫翀华(1976-),男,助理研究员。

† 通信联系人 E-mail:cxh@ocean.ioa.ac.cn

如武器装备的末弹道测量,需要精确估计目标的三维坐标,而上述方法对于目标垂直坐标的估计精度很差,远远达不到定位精度要求。若要提高垂直坐标估计精度,那么在垂直方向测量阵需具有一定孔径,一般采用垂直阵。在需要进行垂直坐标定位方面,有关文献中^[2-4]介绍了利用匹配场的方法,利用声波直达声和反射声的时延差进行目标三维坐标定位。

本文给出了利用水平阵和垂直阵联合实现对目标的三维定位方法,该方法适用于目标距离近的高精度定位,相对于匹配场定位,无需确知声场的详细信息,只需测量阵的水平、垂直位置,在计算量上不需要对声场进行扫描,对接收信号进行相关或互谱即可,计算量大大降低。首先利用三元水平阵对目标斜距和方位进行估计,然后利用垂直阵进行垂直坐标估计,最后综合目标斜距、方位和垂直坐标估计目标水平坐标。

2 被动定位原理

本文利用三元水平阵和二元垂直阵联合实现对目标的三维定位。测量阵示意图如图 1 所示。图中 1、2、3 阵元组成三元水平阵,阵元间距为 d ,2、4 阵元组成垂直阵,阵元间距为 d' , T 表示目标, T' 表示目标对应于海面的镜像虚源,水平阵与海面的距离为 h 。

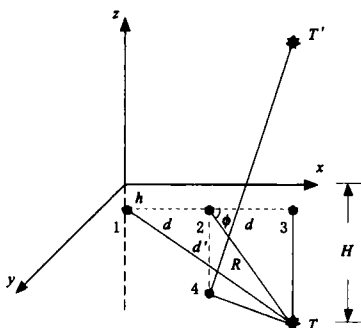


图 1 测量阵示意图

众所周知,一个水平三元阵能够对目标的距离和方位进行测量,二元垂直阵利用直达、

反射时延差可以对深度定位。本文的定位思路如下所述,首先利用水平阵进行目标斜距估计,然后利用直达反射声对目标深度进行估计,最后再利用水平阵相关结果对目标水平坐标进行估计。

3 斜距及目标方位估计

目标斜距及方位可以由三元水平阵得到,三元阵及目标示意图如图 2 所示。设目标斜距 R 为目标到 2#阵元的距离,目标方位角为 ϕ , R 和 ϕ 的求解公式如式(1)、(2)所示^[5]。

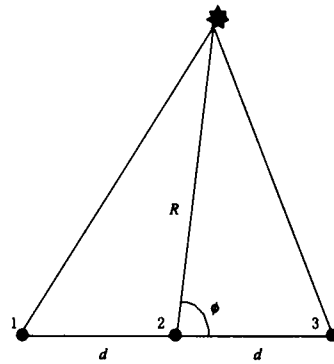


图 2 三元水平阵示意图

$$R = \frac{2d^2 - c^2(\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2)}{2c(\tau_{12} - \tau_{23})} \quad (1)$$

$$\phi = \sin^{-1} \frac{c(\tau_{12} + \tau_{23})}{2d} \quad (2)$$

式中 c 表示声速, τ_{12} 表示阵元 1、2 接收信号的时延差, τ_{23} 表示阵元 2、3 接收信号的时延差,可以通过信号间的相关或互谱等方法测量。

4 目标深度估计

目标深度估计利用上面求得的目标斜距、目标到 2#阵元的直达声与目标到 4#阵元的海面发射声(虚源 T' 到 4#阵元的直达声)的时延差解得。设目标深度为 H ,目标到 2#阵元的距离记为 $T2 = R$,虚源到 4#阵元的距离设为 $T'4$,目标对 2#或 4#的水平距离为 r 。二元垂直阵利用直达声和反射声深度估计示意图如图

3 所示。参照图 3 利用三角形定理,可得

$$T2 = \sqrt{(H-h)^2 + r^2} \quad (3)$$

$$T'4 = \sqrt{(H+h+d')^2 + r^2} \quad (4)$$

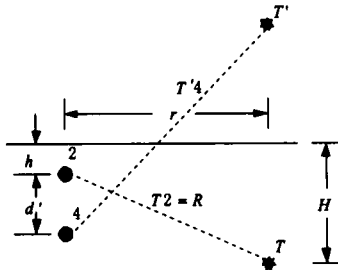


图 3 深度估计原理示意图

若目标到 2#阵元的直达声与目标到 4#阵元的海面发射声二者间的时延差可测(二者做自相关,第二个相关峰对应时延),设为 τ ,则有

$$T'4 = T2 + c\tau$$

将式(3)与式(4)平方相减可解得目标深度为

$$H = \frac{(R + c\tau)^2 - R^2 - d'^2 - 2hd'}{2(2h + d')} \quad (5)$$

5 目标水平坐标估计

如果目标斜距、深度及目标相对于水平阵的方位角已知,目标水平坐标可由这些量求得,设 1,2,3 阵元对应坐标为 $(0,0,h)$ 、 $(d,0,h)$ 、 $(2d,0,h)$,目标方位角为 ϕ ,示意图如图 4 所示。

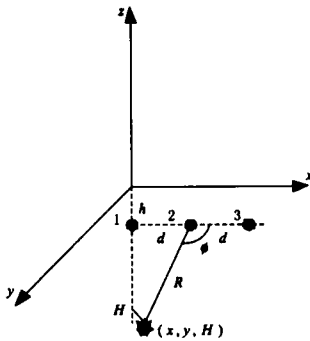


图 4 水平坐标定位示意图

利用三角形定理和解析几何可解得目标水平坐标

$$\cos\phi = \frac{x-d}{R}$$

$$\begin{cases} x = R\cos\phi + d \\ y = \pm \sqrt{R^2 - x^2 - (H-h)^2} \end{cases} \quad (6)$$

y 可进一步由先验条件确定,如在武备弹道测量系统中,目标相对测量坐标系的相对位置是已知的,据此可以判定 y 的符号。

6 精度仿真分析

图 5 只给出水平面目标轨迹投影示意图,目标深度不变,为 40m,沿 $y = 500m$ 直线运动,起始横坐标为 $-300m$,终止横坐标为 $300m$,设图 1 中 d 为 $16m$, d' 为 $8m$,水平阵布放位置与 x 轴平行,深度为 $20m$ 。进行计算机仿真时,水平三元阵的坐标可以设为 $(-16,0,20)$ 、 $(0,0,20)$ 和 $(16,0,20)$,单位为 m 。

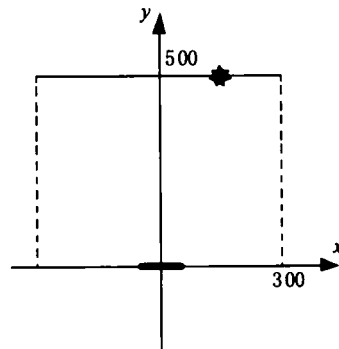


图 5 目标水平运动轨迹示意图

从上面提及的公式可以看出,时延是需要估计的主要量,这里我们只讨论时延误差对定位精度的影响。

对目标轨迹进行采样,分析其定位精度,目标起始横坐标为 $-300m$,终止横坐标为 $300m$,采样间隔为 $5m$,共采样 121 点,第 61 点目标横坐标为 0 ,对应阵的正横方向。

当时延误差为 $2\mu s$,定位结果如图 6、7、8 所示,可以看出当目标在水平阵的正横位置时误差最小,估计精度最高。因此如果在水平面采用十字阵的方式进行互补定位可保证定位精度,因为十字阵由两条水平阵相互垂直组成,当目标在某条阵的端向时,一定在另一阵的正横。

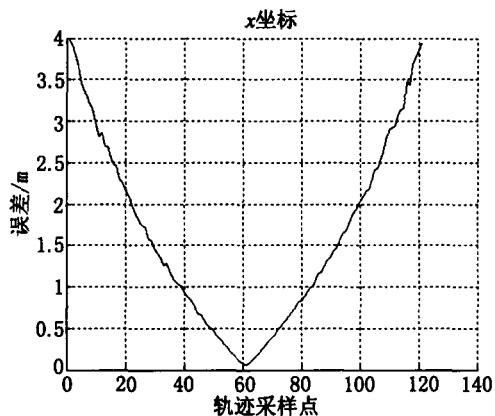


图6 x坐标定位精度
(沿 $y=500\text{m}$ 直线运动 $d=16\text{m}$ $d'=8\text{m}$)

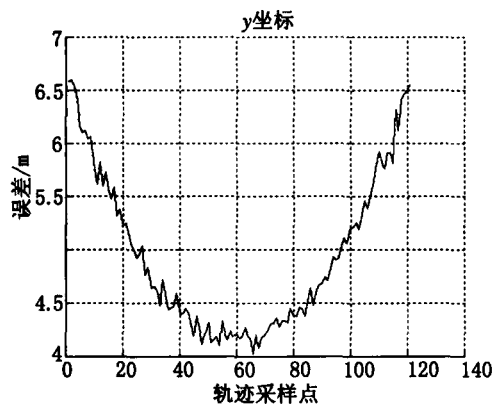


图7 y坐标定位精度
(沿 $y=500\text{m}$ 直线运动 $d=16\text{m}$ $d'=8\text{m}$)

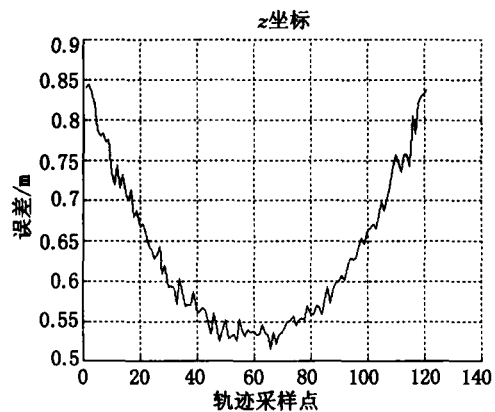


图8 z坐标定位精度
(沿 $y=500\text{m}$ 直线运动 $d=16\text{m}$ $d'=8\text{m}$)

若时延估计误差不变,但水平阵阵元间距为10m,从图9、10、11可以看出估计精度相对于阵元间距为16m大大降低,因此定位精度

随着测量阵孔径(水平阵阵长)的减小而减小。

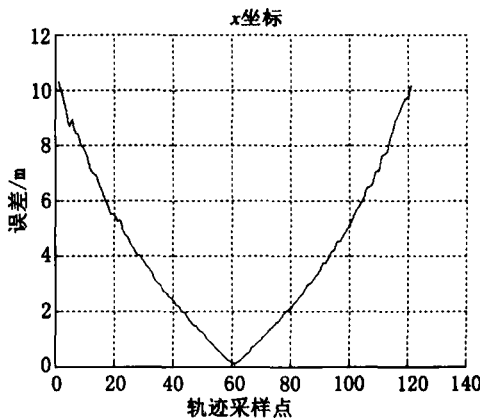


图9 x坐标定位精度
(沿 $y=500\text{m}$ 直线运动 $d=10\text{m}$ $d'=8\text{m}$)

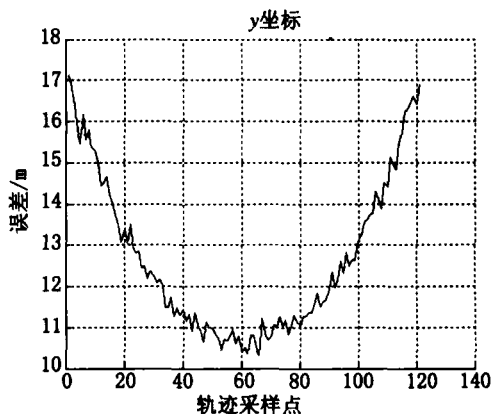


图10 y坐标定位精度
(沿 $y=500\text{m}$ 直线运动 $d=10\text{m}$ $d'=8\text{m}$)

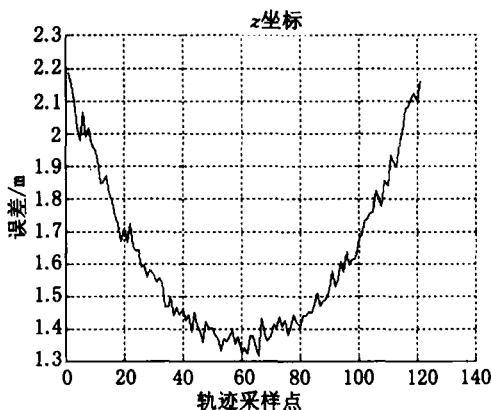


图11 z坐标定位精度
(沿 $y=500\text{m}$ 直线运动 $d=10\text{m}$ $d'=8\text{m}$)

当目标距离变远,假设在 $y = 1000\text{m}$ 直线上运动,设横坐标的运动轨迹不变,设 d 为 16m , d' 为 8m ,时延误差为 $2\mu\text{s}$ 的定位结果如图 12、13、14 所示。可以看出当距离增大,定位精度急剧下降,因此本方法适用于距离近的目标三维定位。

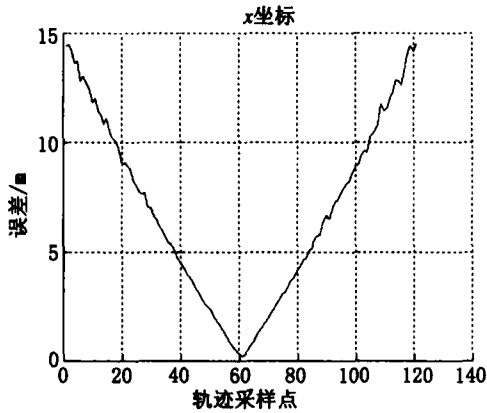


图 12 x 坐标定位精度
(沿 $y = 1000\text{m}$ 直线运动 $d = 16\text{m}$ $d' = 8\text{m}$)

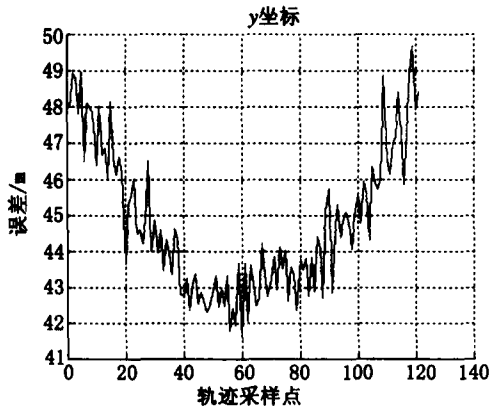


图 13 y 坐标定位精度
(沿 $y = 1000\text{m}$ 直线运动 $d = 16\text{m}$ $d' = 8\text{m}$)

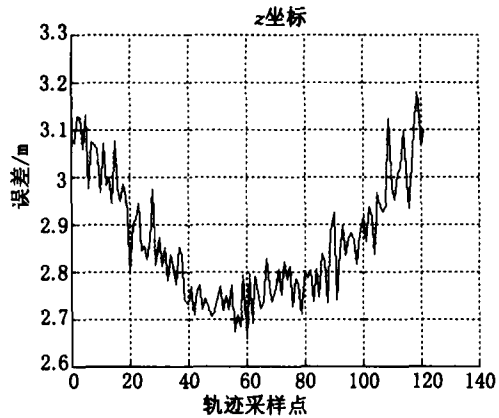


图 14 z 坐标定位精度
(沿 $y = 1000\text{m}$ 直线运动 $d = 16\text{m}$ $d' = 8\text{m}$)

7 结论

利用一个水平三元阵和一个二元垂直阵可以实现对目标的三维定位,只需要精确估计阵元接收信号之间的时延差^[5]。仿真结果表明,目标处于测量阵的正横位置时估计精度最高,估计精度随测量阵的孔径增加而增大。当目标距离较远时,性能下降,故该方法适用于近距离目标的三维定位。

参 考 文 献

- [1] 惠俊英. 水下声信道. 北京:国防工业出版社,1992:56-76.
- [2] S. Aravindan, N. Ramachandran, Prabhakar S. naidn. Fast Matched Field Processing. IEEE Journal of oceanic Engineering, 1993,18(1): 1-5.
- [3] He Shaoyin, Liu Yudong. Matched Multipath Source Localization in Deep Ocean. Proceeding of ICSP'98: 1431-1434.
- [4] Newell O. Booth, Ahmad T. Abawi, Phil W. Schey. Detectability of Low-Level Broad-Band Signals Using Adaptive Matched Field Processing with Vertical Aperture Arrays. IEEE Journal of oceanic Engineering, 2000,25(3): 296-313.
- [5] 李启虎. 声纳信号处理引论. 北京:海洋出版社,2000: 299-337.