# 一种主动浮标阵的定位解算方法仿真分析

罗 博 乔 斌

(杭州应用声学研究所 杭州 310012)

**摘要** 在研究单枚主动定向浮标定位原理的基础上,推导出一种利用最小二乘法解算多枚浮标的定位结果的方法,并针对圆阵就阵元个数、圆阵半径以及测距误差对该解算方法的性能影响进行了数值仿真分析。仿真结果表明,该算法在测向均方误差较大或者目标在距离圆内的情况下,性能远优于单枚主动定向浮标;圆阵半径 2 km 左右,阵元个数在6左右时,该解算方法的性能达到最佳。此外,该解算算法很容易被扩展至三维定位问题,因此有一定的理论和应用价值。

关键词 主动浮标,最小二乘法,定位性能

**中图分类号:** TN911.7 **文献标识码:** A

## Simulation analysis of a target location method using buoys arrays

#### LUO Bo QIAO Bin

(Hangzhou Applied Acoustic Research Institute, Hangzhou 310012)

**Abstract** Based on the target location using a single active directional sonobuoy, a method to solve the target location of multi-sonobuoy using the mean square technique is derived. And the influence of parameters variations, such as sonobuoy numbers, radius and range error, on this method in a circular case is simulated. The simulation results indicate that this method is better than the single active directional sonobuoy when direction-finding error is relatively large or the target is in the circular. It is also indicated that when range is 2km and the number of sonobuoys are six, this method performs its best. Moreover, this method can be easily extended to the three-dimension case, which indicates that it has certain technical and practical significances.

Key words Active sonobuoy, Mean square technique, Location performance

## 1 引言

主动定向声呐浮标是反潜飞机利用浮标信号 处理系统最后定位用的关键性器材,仅仅需要一枚 主动定向声纳浮标,即可精确测定浮标与目标之间 的距离,目标相对于浮标的磁北方向,利用声纳浮 标接收到潜艇的多普勒频移来确定目标的径向速 度,从而达到快速定位,引导反潜飞机进行攻击的 目的<sup>[1]</sup>。但是,由于各种原因引起的误差总给单浮 标定位带来较大的误差,本文在公式推导的基础 上,探讨浮标阵的定位解算方法及与单枚浮标的性 能比较。

文章编号: 1000-310X(2012)03-0220-05

圆形浮标阵是一种典型的包围型浮标阵,是一种基本的声纳浮标阵阵型<sup>[2-3]</sup>,在航空反潜中有着广

2011-11-07 收稿; 2012-03-22 定稿

作者简介:罗博 (1985-), 男, 陕西咸阳人, 助理工程师, 研究方向: 水声信息与信号处理。 乔斌 (1979-), 男, 工程师。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

<sup>\*</sup>通讯作者:罗博, E-mail:nwpulb@yeah.net

泛的应用。例如,在应召反潜和跟踪丢失恢复接触时,圆形浮标阵都是最常用的浮标阵阵型,在检查性反潜时,圆形浮标阵也是一种比较常用的浮标阵 阵型。因此,研究圆形阵具有一定的代表性。

相似的研究有, Don 利用最大似然办法求解了 利用距离信息和方位信息定位<sup>[5]</sup>, Wade 利用迭代 ILS 方法<sup>[6]</sup>, 其中用到了泰勒级数和迭代法。Suhwan 研究了利用多基地声纳的噪声差来组成加权系数<sup>[7]</sup> 修正一般的最小二乘方法。本文在上述研究的基础 上,利用最小二乘方法求解多枚主动浮标定位问 题,并就其性能进行了仿真分析。

### 2 主动定向浮标系统模型

主动定向浮标可以根据回波到达时间获得距 离测量值,根据东西,南北两路输出信号获得磁北 方位。因为目标的位置被限定到水下平面范围内, 接收信号可以表达为式(1)和式(2),其中距离测量误 差服从瑞利分布,方位测量误差服从高斯分布:

$$R_s = R_t + n_s, \tag{1}$$

$$\theta_s = \theta_t + n_\theta. \tag{2}$$

这里,  $R_s$ 表示距离测量值,  $R_t$ 表示距离真值,  $n_s$ 表 示距离噪声,  $\theta_s$ 是方位测量值,  $\theta_t$ 是真实方位值,  $n_{\theta}$ 是方位噪声。其中距离的单位为米, 方位的单位是度。

假设如下<sup>[1-4]</sup>: (1)可以获得浮标的精确位置; (2) 每枚浮标是全方位观测(0°~360°); (3)每枚浮标所处 的海洋环境相同; (4)目标静止或低速航行(每枚浮 标由于目标运动测速误差可忽略)。

### 2.1 单枚主动定向浮标模型<sup>[7-8]</sup>

单枚浮标工作方式如图1所示,可以看出,主 动定向浮标属于收发合置装置,其测量结果可以建 模为:



$$R_{s} = 2\left(\sqrt{\left(x - x_{R}\right)^{2} + \left(y - y_{R}\right)^{2}}\right) + n_{s}, \qquad (3)$$

$$\theta_s = \tan^{-1} \left( \frac{y - y_R}{x - x_R} \right) + n_{\theta}.$$
 (4)

融合距离测量结果和方位测量结果,目标位置 可以由下式得到:

$$\hat{x} = x_R + R_R \cos \theta_R,$$

$$\hat{y} = y_R + R_R \sin \theta_R.$$
(5)

这里,  $(x_R, y_R)$ 表示浮标本身的位置,  $R_R$ 是浮标和 目标之间的距离,  $\theta_R$ 是距离-目标连线和参考方位 的夹角:

$$R_R = \frac{R_S}{2},\tag{6}$$

$$\theta_{R} = \theta_{S}. \tag{7}$$

#### 2.2 多枚浮标阵模型

多枚浮标联合定位的模型如图 2 所示,为了有 效估计目标位置,我们需要利用决策方法来融合不 同浮标计算的信息。





在图 2 中,利用  $R_{xi}$ ,表示第 i 个浮标的坐标位置 $(x_i, y_i)$ ,  $R_{R_i}$ 表示第 i 个浮标计算得到的浮标-目标距离值,  $\theta_{si}$ 表示目标和第 i 个浮标形成的方位角。因此,第 i 个浮标计算得到的目标位置表示为:

$$\hat{x} = x_{Ri} + R_{Ri} \cos \theta_{Si},$$
  

$$\hat{y} = y_{Ri} + R_{Ri} \sin \theta_{Si},$$
(8)

$$\left(\hat{x} - x_{i}\right)^{2} + \left(\hat{y} - y_{i}\right)^{2} = R_{Ri}^{2}.$$
(9)

#### 利用式(9)我们可以得到,

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\begin{bmatrix} x_i - x_1 & y_i - y_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_{R1}^2 - x_1^2 - y_1^2 + x_i^2 + y_i^2 - R_{Ri}^2}{2} \end{bmatrix}.$$
 (10)

将多枚浮标的结果综合在一起,得到如下矩阵:

$$\begin{bmatrix} x_{2} - x_{1} & y_{2} - y_{1} \\ x_{3} - x_{1} & x_{3} - x_{1} \\ x_{N} - x_{1} & y_{N} - y_{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_{R1}^{2} - x_{1}^{2} - y_{1}^{2} + x_{2}^{2} + y_{2}^{2} - R_{R2}^{2}}{2} \\ \frac{R_{R1}^{2} - x_{1}^{2} - y_{1}^{2} + x_{3}^{2} + y_{3}^{2} - R_{R3}^{2}}{2} \\ \frac{R_{R1}^{2} - x_{1}^{2} - y_{1}^{2} + x_{N}^{2} + y_{N}^{2} - R_{RN}^{2}}{2} \end{bmatrix}.$$
(11)

由式(11)可以看出,当浮标个数小于 3 枚时,算法 失效;等于 3 枚时,有唯一解;大于 3 枚时,矩阵  $A\hat{x} = b$ 中, A不是方阵,这个方程可以用伪逆矩阵 来求解,即最小二乘解:

$$\hat{x}_{LS} = \left(A^{\mathrm{T}}A\right)^{-1} A^{\mathrm{T}}b.$$
(12)

### 3 仿真分析

为了验证多枚浮标定位的性能,我们选取圆形 阵作为研究对象。为了比较单枚主动全向浮标和浮 标阵的性能,我们选取3枚浮标阵和单枚浮标进行 性能比较。单枚浮标位置在(0,0),浮标阵是以 (0,0)为中心的圆环上等间距分布,其中第一个阵 元分布在x轴正半轴上。我们主要仿真了目标位置 在过原点的直线上变化时定位解算的性能。

#### 3.1 浮标个数对定位结果的影响

图 3 中,(a)~(c)给出了测向均方误差为 0.2°, 测距均方误差为 30m,圆半径为 2km,倾角分别为 15°、30°、60°时,浮标个数为 3~7 时浮标阵的定位 解算性能图,同时,为了比较,我们也给出了单枚 主动定向浮标的相应仿真结果。图 3(d)给出了其余 条件不变的情况下,测向均方误差为 0.6°,阵元个 数为 3 的仿真结果。

从图 3 可以看出,当阵元个数增加时,定位性 能会有所提高,但是幅度较小,浮标阵相对于单枚 定位浮标的定位性能有所提高,尤其是对浮标阵圆 内的目标定位性能显著提高。而且,当测向均方误 差变大时,性能提高明显增大,这是因为式(11)中 已经摒弃了测向结果,只利用测距结果,测向均方 误差对其性能没有影响,而测向均方误差对式(5) 的性能影响较大。

#### 3.2 浮标离中心点距离对定位结果的影响

对于圆形阵,圆的半径根据浮标的作用距离来 定,为了完成定位,圆半径应当选取一些合适的值, 不同的圆半径对应的浮标阵的性能有所不同。图 4 给出了测距均方误差为 30 m,阵元个数为 6,圆半 径由 500 m 变化到 2500 m 时的浮标阵定位性能仿真 结果。

从图 4 可以看出,当圆半径在 1.5 km 以下时, 圆半径对定位性能的影响较大,当圆半径大于 1.5 km 至单枚浮标作用距离时,圆半径增大对定位性能 的影响不再显著。需要注意的是,本文的仿真都 假设目标均在浮标阵上的浮标作用距离范围内; 此外,圆半径大于单枚浮标作用距离时,不能构 成浮标阵,因此浮标阵的圆半径上限是单枚浮标 作用距离。

#### 3.3 距离估计误差对定位结果的影响

前面已经提到,影响式(11)的主要因素是测距 精度,图5给出在圆半径2km,阵元个数为6的情 况下,不同测距均方误差下定位性能仿真结果。

从图 5 可以看出,测距误差对浮标阵的定位结 果影响很大,当测距均方误差由 10m 变为 30m 时, 定位均方误差最大值大约相应地从 20m 变到 60m。

从图 3~图 5 可以看出,浮标个数、圆半径、测向误差对定位均方误差的影响都是在浮标阵内的目标,表现在曲线上,就是浮标阵外的目标,表现在曲线上,就是浮标阵外的均方误差曲线明显变陡。







## 4 结论与讨论

本文在研究单枚主动定向浮标工作模型的基础上,推导出一种利用主动浮标阵的测距结果进行 目标定位的最小二乘解算方法,并对典型的圆形阵 模型进行仿真,分析了阵元数、圆阵圆半径以及测 距误差对该解算方法的性能的影响。仿真结果表 明,当阵元个数增加或圆半径增大时,定位算法的 性能均有所提高,其中圆半径的影响较大。

同时,值得一提的是,本文的解算方法并不限 于圆阵,且可以推广到三维情况。

#### 参考文献

[1] 潘勤昇. 主动定向声纳浮标系统[J]. 应用声学, 1991, 10(4):46-48.

- [2] 王磊,吴福初,陈钰宁,等.基于声纳浮标的反潜直升机应召搜 潜仿真研究[J].指挥控制与仿真,2010,32(2):84-88.
- [3] 丛红日,吴福初,王宗杰.圆形声纳浮标阵搜潜效能模型研究[J]. 海军航空工程学院学报,2010,25(1):93-96.
- [4] 丛红日. 声纳浮标阵搜潜效能通用仿真模型研究[J]. 系统仿真技术, 2010, 6(2):104-109.
- [5] TORRIERI D J. Statistical theory of passive location systems[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1984, 20(2):183-198.
- [6] FOY W H. Position-location solutions by Taylor-series estimation[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1976, 12(2):187-194.
- [7] BLANDING W, WILLETT P, CORALUPPI S. Sequential ML for multistatic sonar tracking[C]. IEEE Conference on OCEANS, 2007, 19:1-6.
- [8] KIM S, KU B, HONG W, et al. Performance comparison of target localization for active sonar systems[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2008, 44(4):1371-1379.