

近程目标距离的实时估计研究

朱代柱 惠俊英 蔡 平

(哈尔滨工程大学水声所 哈尔滨 150001)

1998 年 5 月 26 日收到

摘要 本文首先介绍了两种利用近程目标辐射噪声实时被动测距的快速算法, 理论仿真和实验分析的结果表明这两种算法都是可行的。

关键词 被动测距, 声引信

A study on passive ranging in real-time of a short range target

Zhu Daizhu Hui Junying Cai Ping

(Underwater Acoustical Institute, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

Abstract Two rapid algorithms for passive ranging in real-time are introduced by use of the radiated noise from a short range target. The theoretical and experimental results show that they are reliable.

Key words Passive ranging, Sound detonator

1 引言

近程目标被动距离估计是指: 对于数十米以内的近距离运动目标, 利用其辐射噪声, 以简便的方法实时估计(测量)该目标的距离。该技术在多方面可得到应用, 如: 水雷声引信, 深弹声引信, 辐射噪声测量等需要近程被动测距的场合。

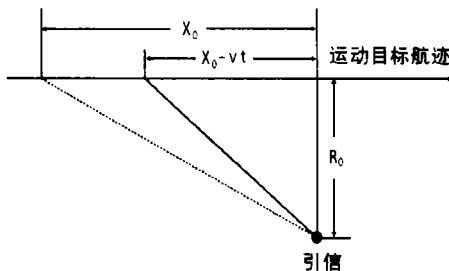


图 1 近程被动测距原理示意图

2 实时被动测距的原理

2.1 原理

众所周知, 在近距离处, 目标辐射噪声的强度是符合球面波的衰减规律的, 对于不同的最近通过距离, 其斜率的变化曲线是不一样的。利用这一点可以测量目标的距离。

设在观测时间内目标作匀速直线运动, 航速 v 已知, $k=0$ 时刻目标距水听器的距离为 $\sqrt{X_0^2 + Y_0^2}$, 其中, X_0 为 $k=0$ 时刻目标的当前距离在航迹上的投影长度(简称“正横”距离), R_0 为最近通过距离, k 为时间序号。 k 时刻目标距水听器的距离为 $\sqrt{(X_0 - vk\tau_s)^2 + R_0^2}$,

τ_s 为经稀释后的采样周期。考虑到实时应用的要求, 计算中只能使用目标达到最近距离之前的数据。

假定声波为球面波, 在近距离上可忽略介质吸收, 接收声强度为

$$I(k) = \frac{A}{R^2 + (X_0 - vk\tau_s)^2} \quad (1)$$

为分析简单起见, 设声压的包络为 $X(k)$, 声强 $I(k)=X^2(k)$, 令 $Z(k)=\frac{1}{I(k)}$, 则上式可变换为

$$Z(k) = \alpha - \beta k + \gamma k^2 \quad (2)$$

式中,

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{R_0^2 + X_0^2}{A} \\ \beta &= \frac{2X_0 v \tau_s}{A} \\ \gamma &= \frac{v^2 \tau_s^2}{A} \end{aligned} \quad (3)$$

用最小二乘法, 以 (2) 式在最小均方误差准则下拟合实验数据 $Z(k)$, 可以求得参数 α 、 β 、 γ 的最佳估计值。

若所取的样本长度为 M , 则估计的均方误差 $\varepsilon^2(k)$ 为

$$\overline{\varepsilon^2(k)} = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} [Z(k) - (\alpha - \beta k + \gamma k^2)]^2 \quad (4)$$

令 $\overline{\varepsilon^2(k)} \rightarrow \min$, 分别对 α 、 β 、 γ 求偏导数, 使之等于零, 得

$$\begin{cases} M\alpha - \xi\beta + \eta\gamma = B_1 \\ \xi\alpha - \eta\beta + \zeta\gamma = B_2 \\ \eta\alpha - \zeta\beta + \chi\gamma = B_3 \end{cases} \quad (5)$$

式中,

$$\begin{cases} \xi = \sum_{k=0}^{M-1} k = \frac{(M-1)M}{2} \\ \eta = \sum_{k=0}^{M-1} k^2 = \frac{(M-1)M(2M-1)}{6} \\ \zeta = \sum_{k=0}^{M-1} k^3 = \left[\frac{(M-1)M}{2} \right]^2 \\ \chi = \sum_{k=0}^{M-1} k^4 \\ = \frac{(M-1)M(2M-1)(3M^2-3M-1)}{30} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} B_1 = \sum_{k=0}^{M-1} Z(k) \\ B_2 = \sum_{k=0}^{M-1} Z(k) \cdot k \\ B_3 = \sum_{k=0}^{M-1} Z(k) \cdot k^2 \end{cases} \quad (7)$$

由方程组 (7) 可求得 α 、 β 、 γ , 进而可求得

$$\begin{cases} X_0 = \frac{v\tau_s\beta}{2\gamma} \\ R_0 = \sqrt{\frac{v^2\tau_s^2\alpha}{\gamma} - \left[\frac{v\tau_s\beta}{2\gamma} \right]^2} \\ R(k) = \sqrt{R_0^2 + (X_0 - v\tau_s k)^2} \\ = v\tau_s \sqrt{\frac{\alpha}{\gamma} - \left[\frac{\beta}{2\gamma} \right]^2 + \left[\frac{\beta}{2\gamma} - k \right]^2} \end{cases} \quad (8)$$

其中 $R(k)$ 和 R_0 分别为所要求的运动目标的当前距离和最近通过距离。

2.2 算法的改进

在计算 α 、 β 、 γ 之前需要先计算出式 (6) 和式 (7), 而且对于每一次估计过程, 式 (6) 和式 (7) 都要重新计算一遍, 这其中有很多运算是重复的, 势必会影响到运算的效率。考虑到硬件的成本问题和运算的实时性问题, 有必要寻求更小运算量的算法。

(1) 递归最小二乘算法

在估计的过程中, 如果把 $t=0$ 之后的第 N

时刻作为计算时的零时刻，得到一个估计值；
 下一次估计时，把第 $N+1$ 时刻仍然作为计算时的零时刻。这样，当 M 一定时， ξ 、 η 、 ζ 、 χ 就是常数了，从而可推导出：

$$\begin{cases} B_{N,1} = B_{N-1,1} + Z(M+N+1) \\ \quad - Z(N-1) \\ B_{N,2} = B_{N-1,2} - B_{N,1} \\ \quad + Z(M+N+1) \cdot M \quad (N \geq 1) \\ B_{N,3} = B_{N-1,3} - 2B_{N-1,2} + B_{N,1} \\ \quad + Z(M+N+1) \cdot (M^2 - 2M) \end{cases} \quad (7b)$$

应用以上算法，可大大减小计算量。
 (2) 简化算法
 如果一阶递归的误差较小，则无须进行最小二乘估计，只须解方程组。
 取三个采样值，得

$$\begin{cases} Z(0) = \frac{R_0^2 + X_0^2}{A} \\ Z(k_1) = \frac{R_0^2 + (X_0 - v\tau_s k_1)^2}{A} \\ Z(k_2) = \frac{R_0^2 + (X_0 - v\tau_s k_2)^2}{A} \end{cases} \quad (9)$$

从而可解出 X_0 、 R_0 和 $R(k)$ 。

3 实时被动测距方法的实验结果

1997 年 8 月 11-12 日，以摩托艇作为高速运动的目标，课题组在吉林市松花湖湖试过程中记录了几个航次的目标辐射噪声数据。实验时风平浪静，航船稀少，采样频率为 16kHz， M 的值取 96(M 值太小滤波效果不好，太大的话，后置滤波的滞后误差不能忽略，因此取中间值比较合适)。
 用上述递归算法和简化算法，分别对实验数据进行处理，并与相同最近通过距离下仿真数据的处理结果进行比较，示于图 2。图中，(a)、(c) 分别是最近通过距离为 12.4m 的航次的当前距离和最近通过距离，(b)、(d) 分别是最近通过距离为 7.15m 的航次的当前距离和

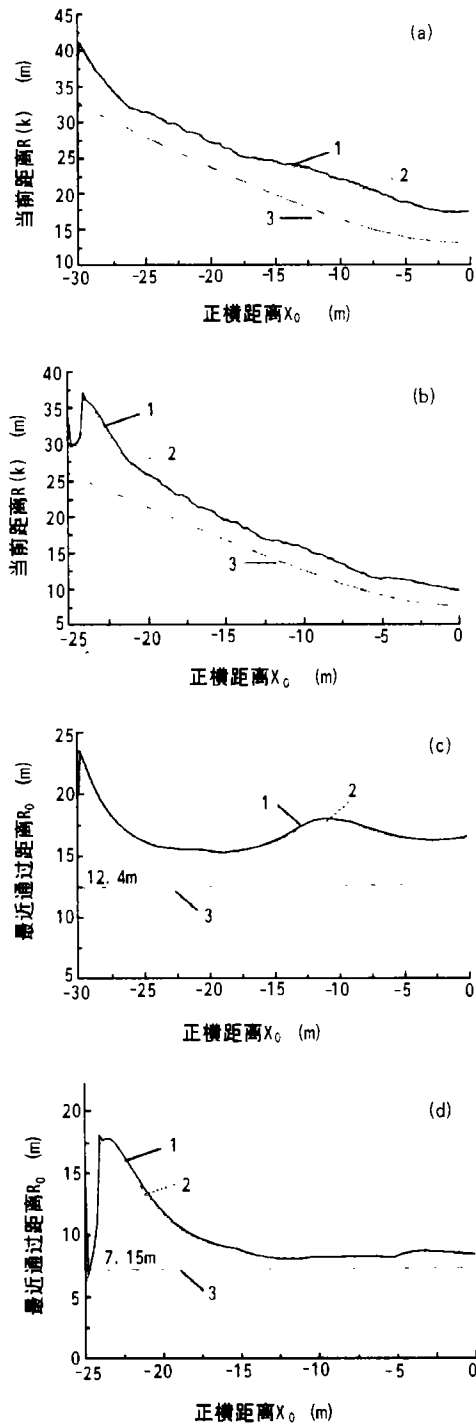


图 2 两种被动测距方法的应用结果
 1— 递归最小二乘算法
 2— 简化算法
 3— 两种算法的理论曲线

(下转第 32 页)

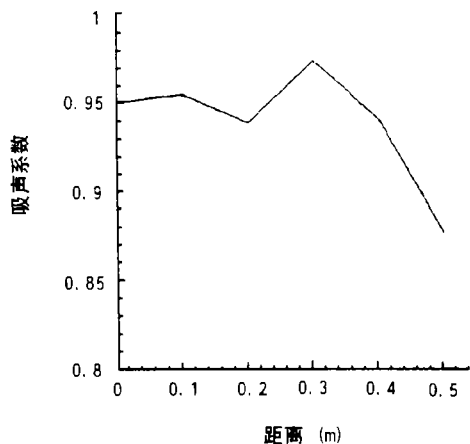


图5 吸声系数测量值与测点的关系

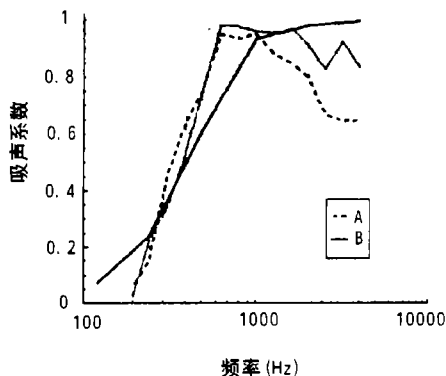


图6 材料面积对吸声系数测量值的影响

5 结语

根据上述理论分析和实验,有如下结论:

(1) 总体上讲,双传声器法测量斜入射吸声系数,在低频范围内较精确;

(2) 双传声器与材料表面的距离对测量吸声系数没有影响;

(3) 用双传声器法测量斜入射吸声系数,所需材料面积在 1m^2 左右即可。

参 考 文 献

- 1 沈峰. 声学测量. 科学出版社. 1986 年
- 2 Ingard U, Bolt K H. *J. Acoust. Soc. of Amer.*, 1951, **23**: 509-516.
- 3 Sides D J, Mulholland K A. *Journal of Sound and Vib.*, 1971, (14): 139-142.
- 4 Tamura M. *J. Acoust. Soc. of Amer.*, 1990, **88**: 2259-2264.
- 5 Minten M, Cops A, Lauriks W. *Journal of Sound and Vib.*, 1988, **120**(3): 499-510.
- 6 Allard J F, Bourdier R, Bruneau A M. *Journal of Sound and Vib.*, 1985, **101**(1): 130-132.
- 7 方丹群, 王文奇, 孙家麒. 噪声控制. 北京出版社. 1986 年

(上接第 35 页)

最近通过距离,实线为递归算法的结果,虚线为简化算法的结果(为区别起见,本文中对目标达到最近点之前的正横距离 X_0 一律加上了“-”号)。

从分析结果看,以上算法是可行的,适当修正部分参数后,可望应用于实践中。

4 小结

目标由远而近地运动,辐射噪声会越来越强,其包络变化的规律在近距离上可近似为球

面波扩展规律。而且,对于水听器接收点而言,在目标的不同最近通过距离的航次,包络变化的斜率也会不一样。根据这一特性,作者介绍了两种利用目标辐射噪声实时被动测距的快速算法,一种是递归最小二乘算法,另一种是解方程组算法,两种算法均可实时地估计出目标的当前距离和可能的最近通过距离。对仿真数据和实验数据分析的结果表明,两种方法都是可行的。该法可应用于近程测距的诸多场合。近程目标距离的实时估计研究。