

基于目标能量特性的被动声引信

孙钟阜

(海军驻上海地区水声导航系统军事代表室, 上海 201108)

摘要: 介绍了一种基于目标能量特性的被动声引信。通过分析目标经过声引信时的能量变化信息, 得到一种寻求最佳起爆时刻的方法。试验结果表明, 利用接收声源级的差值判断目标是否最近距离通过, 从而决定是否输出起爆信号, 这种方法可以寻求到最佳起爆时刻, 为被动声引信的应用提供了重要的依据。

关键词: 目标能量特性; 被动声引信; 接收声源级差值; 最佳起爆时刻

中图分类号:

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2012)-06-0574-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2012.06.008

Passive acoustic fuse based on energy feature of target

SUN Zhong-fu

(Militarily Representatives Office of Underwater Sound & Navigation, Shanghai 201108, China)

Abstract: In this paper, a passive acoustic fuse method is presented based on energy feature of target. Through analyzing the information of energy change as a target passes by the fuse, a method of seeking the optimum time for detonation is obtained. By considering the sound level differences of receiving signal to decide whether the target is passing by at a minimum distance, and then by making the decision whether the detonating signal should be output, the optimal detonating time can be sought. Experiment results show its rationality.

Key words: passive acoustic fuse; D-value of receive source level; optimum time for detonation

0 引言

现代反鱼雷水声对抗的发展趋势是实施软杀伤的同时进行硬杀伤。研究具有“硬杀伤”功能的对抗器材, 需对引信技术、爆炸装置(战斗部)杀伤威力和安全性技术等进行预先研究。

引信是弹药的重要组成部分, 任何类型的利用战斗部来摧毁预定目标的“硬杀伤”系统均装有引信。引信的基本作用是探测近区目标, 由传感器采集环境和目标信息并由信号处理装置处理后实现对目标的空间、时间选择, 输出起爆信号。

引信按作用方式可分为触发引信和近炸引信(又称为非触发引信)。声引信是现代武器所使用的近炸引信中的一种。声引信系统分为主动和被动两种, 其中主动声引信系统以其作用半径容易控制、抗干扰能力强而得到广泛应用。对于被动声引信, 因接收信号受自噪声和环境噪声的影响, 作用半径不够稳定, 抗干扰能力差, 在实际中较少采用。

然而被动声引信具有体积小、能耗低的优点,

基于此, 对于数十米以内的近距离目标即目标辐射噪声能量远高于自噪声和环境噪声的情况, 如在与尾流鱼雷的对抗中, 被动声引信仍可以得到有效的应用。

1 被动声引信系统的原理

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, 但绝对值都遵循由小变大再变小的规律。利用这一特点可以寻求被动声引信的最佳起爆时刻。

设在观测时间内目标作匀速直线运动(见图 1), 航速为 v , $k=0$ 时刻目标与水听器距离为 $\sqrt{X_0^2 + R_0^2}$, 其中, X_0 为 $k=0$ 时刻目标当前距离在航迹上的投影长度(航迹距离), R_0 为最近通过距离, k 为时间序号。 k 时刻目标与水听器距离为 $\sqrt{(X_0 - vk\tau_s)^2 + R_0^2}$, τ_s 为对目标运动轨迹的采样周期。

假设声波为球面波, 在近距离上可忽略介质的吸收, I_0 为距离声源 1 m 处的辐射声强, 则 k 时刻声引信处接收到的声强度为

$$I(k) = \frac{I_0}{R_0^2 + (X_0 - vk\tau_s)^2} \quad (1)$$

收稿日期: 2012-10-08; 修回日期: 2012-12-01

作者简介: 孙钟阜(1965—), 男, 江苏金湖人, 高级工程师, 研究方向为水声对抗。

通讯作者: 孙钟阜: E-mail: sunzf@sina.com

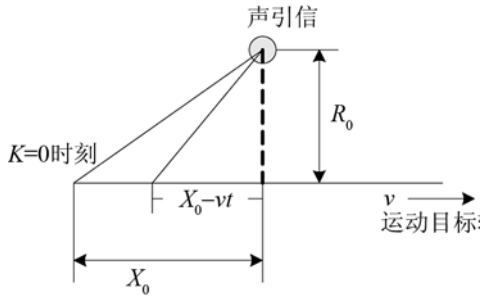
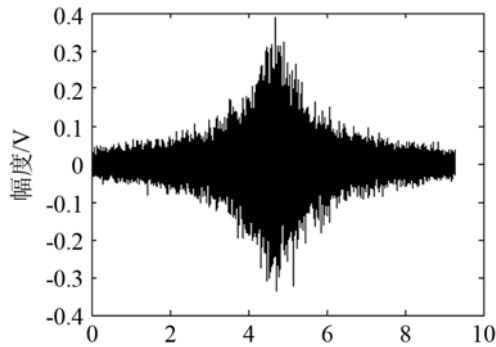
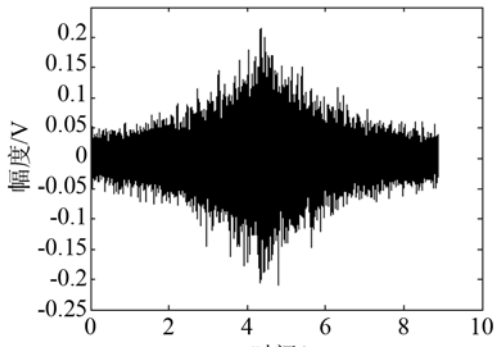


图 1 声引信与运动目标相对位置示意图
Fig.1 Geometric relation between acoustic fuse and moving target

为分析简单，设声压的包络为 $X(k)$ ，声强 $I(k)=X^2(k)$ 。图 2 给出了利用公式(1)，仿真计算目标在 10m、20m 通过时单水听器接收到的信号时域波形，目标自 100 m 处以 40 kn 航速通过，图中峰值位置即表示目标处在最近通过距离处。



(a) 最近通过距离 10m



(b) 最近通过距离 20m

图 2 目标通过单水听器时的仿真接收信号波形
Fig.2 Waveforms of simulative receiving signals as target passing by a single hydrophone

基于目标能量特性的被动声引信系统(图 3)的工作机理是：声引信接收经海水介质传播来的目标辐射噪声，通过对接收信号的分析处理，得到信号包络的斜率变化曲线，根据斜率的大小判断目标是否近距离通过，根据斜率的变化趋势判断目标与声引信的相对位置，按预设的逻辑条件判决是否输出起爆信号。

本系统采用的平滑滤波器为 α 滤波器，又称一

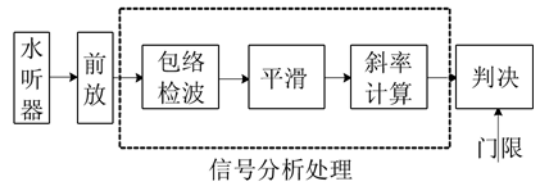


图 3 被动声引信系统
Fig.3 Passive acoustic fuse system

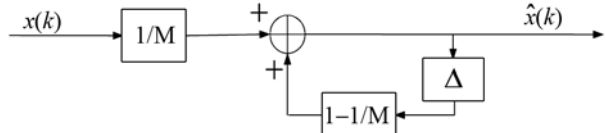


图 4 α 滤波器原理图
Fig.4 Principle diagram of α filter

阶递归型滤波器。图 4 为 α 滤波器的原理图。图中， $x(k)$ 是 k 时刻 α 滤波器的输入， $\hat{x}(k)$ 是 k 时刻 α 滤波器的输出。 α 滤波器的表示式为

$$\hat{x}(k) = (1 - \frac{1}{M})\hat{x}(k-1) + \frac{1}{M}x(k) \quad k=1, 2, \dots \quad (2)$$

其中， M 为滤波常数， k 为离散时间变量，为保证滤波器稳定， M 需大于 1， $1/M$ 为滤波器的平滑系数。

本系统进行判决的似然函数是信号幅度的斜率变化曲线，即接收信号的源级(dB)差值。在目标速度和最近通过距离相同的条件下，取不同的间隔时间所求得的源级差值是不同的。接收源级差值只与间隔时间内的目标距离差相关。假设目标在间隔时间内航迹距离由 50m 变为 0m，图 5 给出了按传播衰减理论计算的该时间间隔内的接收声源级差值与最近通过距离的关系图。

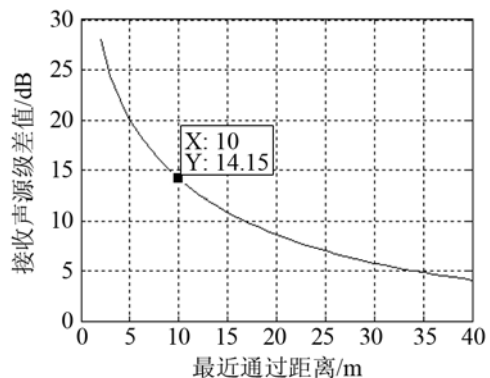


图 5 接收声源级差值与最近通过距离关系图
Fig.5 Difference of receiving sound level vs. nearest passing distance

实际应用中，出于工作可靠性和抗干扰性的考虑，系统根据爆炸毁伤单元的作用距离设置有一定的检测阈，只有超过检测阈的信号才被判为有效。表现在斜率上，就是要求按一定时间间隔和航行速度计算得到的斜率达到爆炸毁伤单元的作用距离(即最近通过距离)对应的接收声源级差值，才表示

目标正在近距离通过，该值为启动门限值。当斜率超过启动门限值时，声引信进入输出起爆信号阶段；而小于启动门限值，则无法使声引信动作。如：爆炸毁伤单元的作用距离为 10m，目标运动速度为 10kn，以 10s 为间隔计算接收声源级差值，若此差值为 15 dB，大于图 5 中对应的 14.15 dB(门限值)，则进入引爆阶段；反之，声引信不动作。

在设置启动门限时，既要考虑信道、目标辐射噪声和背景干扰这些因素，也要参考图 5 给出的接收声源级差值。而是否输出起爆信号，还要根据斜率的变化趋势来确定。

2 被动声引信试验结果与分析

图 6 给出被动声引信动态试验示意图，测量船采用双锚固定，防止其过度漂移，目标运动速度 10kn。声引信信号通过电缆传到测量船上进行采集，水听器接收信号经滤波器 NF3628 放大($\times 625$ 倍)、滤波后直接采集。

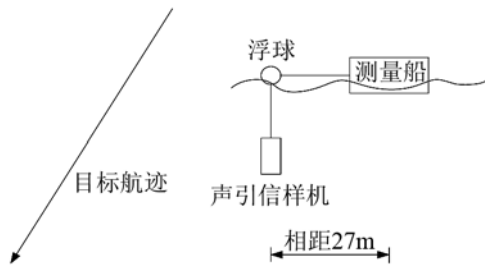


图 6 被动声引信动态试验示意图
Fig.6 Diagram of passive acoustic fuse experiment

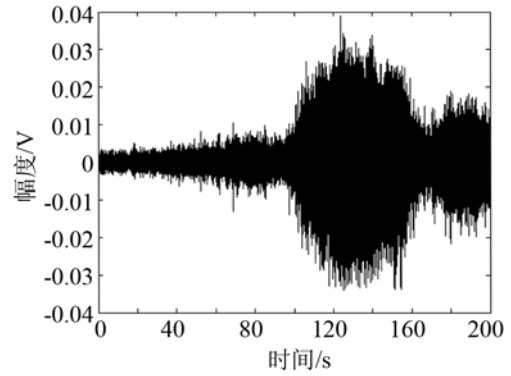
选取某次采集数据进行分析处理，验证被动声引信系统的处理方法。图 7 分别给出了水听器接收到的时域波形和积分时间为 100ms、平滑系数为 0.1 的包络检波与平滑结果。

在包络检波、平滑的结果上进行斜率计算，与接收源级差值对应，斜率是采用当前时刻的平滑结果与前 t_s 时刻的平滑结果相除得到的，如图 8 所示。为了与包络检波及平滑结果在时延上做对比，图中虚线给出的斜率曲线是经过缩比(斜率缩比后在同一幅图中显示)后的结果，不影响曲线的变化趋势。从图 8 可以看出，相隔 10s 相除取斜率比较合适，此时，斜率曲线落后于检波结果但领先于平滑结果，有利于寻求较好的起爆时刻。

起爆逻辑设计为：

(a) 斜率大于某一门限为起爆基本条件，此时认为目标近距离通过。

(b) 在(a)的基础上，相邻两点斜率变小的时刻



(a) 接收信号波形

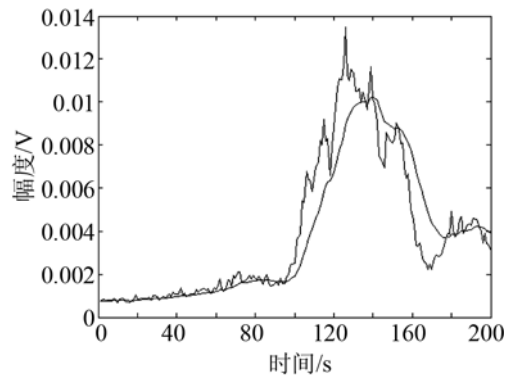
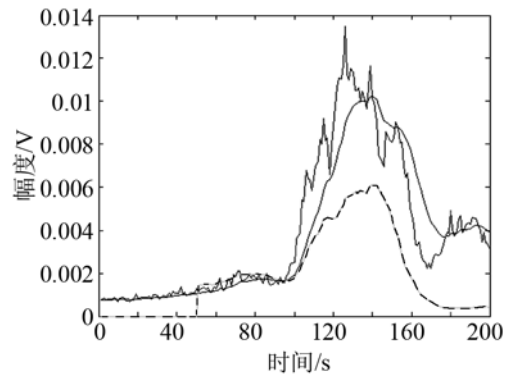


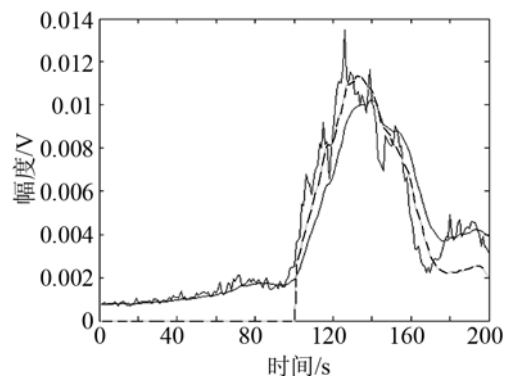
图 7(b) 检波与平滑结果

图 7 水听器接收信号波形及其检波与平滑结果

Fig.7 Receiving signal waveform of hydrophone and its result after demodulation and smoothing



(a) 由相隔 5s 的两输出值相除取斜率



(b) 由相隔 10s 的两输出值相除取斜率

图 8 检波、平滑输出的斜率计算

Fig.8 Slope calculation for the output after demodulation and smoothing

为起爆时刻。

图9给出了目标通过声引信样机时的起爆结果,直角折线上升沿为起爆时刻。之所以输出起爆信号是因为120s处斜率满足门限,并且从图8的斜率曲线可以看出,在120s有一小凹点,也满足相邻两点斜率变小的条件。

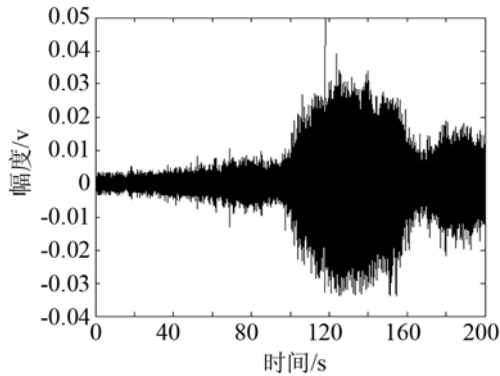


图9 时域波形与起爆结果
Fig.9 Signal waveform and detonating result

3 结论

被动声引信利用能量变化信息来寻求最佳起爆时刻,试验结果表明该方法可以寻求最佳起爆时

刻。利用能量信息来寻求最佳起爆时刻有个不可调和的矛盾,即平滑与延时的关系:平滑曲线越光滑,越有利于寻求最佳起爆时刻,但由平滑带来的延时会越大。在声引信应用场合,不允许过大的延时。这样,当能量起伏较大时,会存在迎头起爆。因此,要综合考虑,选择恰当的起爆时机。

参 考 文 献

- [1] 沈哲. 鱼雷战斗部与引信技术[M]. 国防工业出版社, 2009.
SHEN Zhe. Technology on Torpedo Warhead and Fuze[M]. National Defense Industry Press, 2009.
- [2] 钱东, 张少悟. 鱼雷防御技术的发展与展望. 鱼雷技术[J]. 2005, 13(2).
QIAN Dong, ZHANG Shaowu. History and Development Trend of Torpedo Defense Technologies[J]. Torpedo Technology. 2005, 13(2).
- [3] 朱代柱, 惠俊英, 蔡平. 近程目标距离的实时估计研究[J]. 应用声学, 1999, 18(4).
ZHU Daizhu, HUI Junying, Caiping. A study on passive ranging in real-time of a short range target[J]. Applied Acoustics. 1999, 18(4).
- [4] 高学强, 宋强, 杨日杰. 水声硬对抗技术研究综述[J]. 舰船科学技术, 2007, 29(2).
GAO Xueqiang, SONG Qiang, YANG Rijie. A review of key hard-kill techniques in acoustic warfare[J]. Ship Science and Technology, 2007, 29(2).