

水声对抗系统中声诱饵仿真研究

孙仲阜

(海军驻 726 所代表室,上海 200025)

摘要: 声诱饵作为一种软对抗的水中兵器,其性能和使用方法对最终的对抗效果有着重要的影响。文章对声诱饵进行了声学性能和使用方法的仿真研究,并结合具体的仿真系统给出了一些仿真结论,对型号的研制和武器的使用具有一定的参考价值。

关键词: 水声对抗;声诱饵;性能仿真

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

Acoustical decoy simulation using underwater acoustical warfare simulation system

SUN Zhong-fu

(The Navy Military Representative Office in 726 Research Institute, Shanghai 200025, China)

Abstract: As a type of soft-combating underwater weaponry, performances and operational methods of the underwater acoustical decoy have significant influences on the final effects of the acoustical warfare. This paper simulates the acoustical performances and the way of operations of a certain acoustical decoy, and presents results for a particular system. The study is intended to provide help to the development and tactical usage of the actual decoy.

Key words: underwater acoustical warfare; acoustical decoy; performance simulation

1 引言

水声对抗是信息战(电子战)在海洋水下空间的形式。水声对抗技术就是使用专门的水声设备和器材,以及利用声场环境、隐身以及降噪等手段,对敌方水中探测设备和水中兵器进行侦察、干扰,削弱或破坏其有效作用,保障己方设备正常工作和舰艇安全的各种战术技术措施的总称^[1]。狭义地讲,可以认为水声对抗就是反鱼雷防御的水下战。

在对抗鱼雷的诸手段中,声诱饵是一种有效的软杀伤武器。它通过模拟潜艇辐射噪声和鱼雷主动寻的信号的回波,将鱼雷诱骗至自己附近,以消耗鱼雷的有效航程,从而为潜艇的规避赢得时间,达到保护潜艇的作用。

利用计算机仿真手段对声诱饵进行实验室条件下的研究,可以节约大量的湖/海试经费,并能复现研制过程中发生的问题,为设备的改进提供参考;同时通过不同战术态势的仿真,可以得出声诱饵有效使用的一些战术方案建议。

2 声诱饵工作原理

针对鱼雷自导的三种工作模式——被动、主动及主被动联合,本文讨论的声诱饵相应地具有三种工作模式。需要注意的是,声诱饵的被动、主动等工作方式其实分别是诱骗被动自导模式和主动自导模式的鱼雷的。

2.1 被动工作原理

被动工作开始后,其主要功能是连续发射与真实潜艇噪声特性相似的宽带噪声。模拟的噪声在低频段和高频段有不同的要求和性能,图 1 是其工作原理框图。

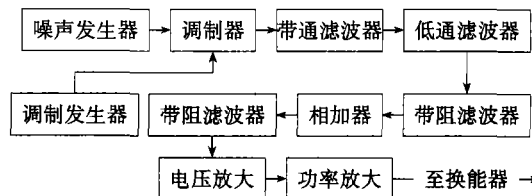


图 1 声诱饵被动工作原理框图

被动工作的声诱饵的工作过程是:由噪声发生器产生的伪随机噪声经某频率范围内任一频率的信号调制后再经过带通滤波器、低通滤波器输出按 6dB/倍频程衰减的模拟噪声信号,然后经两级带阻滤波器对换能器的频率响应进行补偿,最后经电压

收稿日期:2002-03-28;修回日期:2003-04-20

作者简介:孙仲阜(1965-),男,江苏高邮人,工程师,从事水声及水声对抗工作。

放大、功率放大,加到换能器两端,通过换能器向水中辐射相应强度的模拟信号。

2.2 主动工作原理

一旦设定了声诱饵的主动工作模式,其工作有两个方面的内容:首先是在很强的噪声背景(包括背景噪声、潜艇的辐射噪声尤其是声诱饵本身发射的辐射噪声等)中检测并提取出鱼雷的自导寻的探测信号;在得到此信号后,经过对其进行一定的处理得到应答信号发射出去。具体参数从略。

可见,声诱饵的主动工作过程主要包括三个步骤:寻的信号检测、寻的信号复制以及应答信号的生成。图2是其工作原理框图。

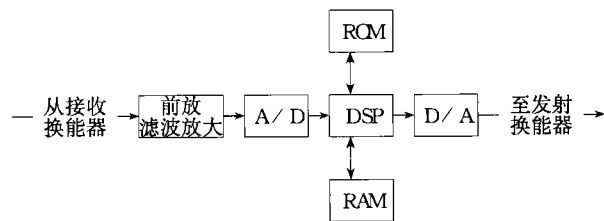


图2 声诱饵主动工作原理框图

由图2可知,DSP控制A/D对来自前端放大器的声信息(包括信号和噪声)进行采样,再经过512点FFT运算,计算功率谱,并用谱线比较的方法判断信号的有无。当检测到有信号时将该信号复制,存至RAM区,并加进回波特性模拟(主要是多普勒频移和脉冲展宽),再经D/A送至发射机将应答信号发射出去。

图中ROM和RAM分别是DSP中存放主程序和进行FFT运算、数据存储的存储器。

3 声诱饵仿真实现^[2]

声诱饵工作的三种模式中,主/被动联合工作方式可以认为是主动工作方式和被动工作方式两种工作方式的叠加运行。因此,仿真是针对单独的主动和被动工作方式进行的。

3.1 声诱饵被动工作仿真

通过2.1节声诱饵被动工作原理介绍,可以知道在此阶段仿真的目标应是模拟舰艇辐射噪声即调制的伪随机噪声的归一化波形,而其最后的电压、功率等参数都可以通过计算得到。

具有最大长度线性移位寄存器产生的序列,称为m伪随机序列,简称为m序列。m序列具有以下几个特性^[3]:

- (1) 具有类似白噪声的自相关函数。
- (2) 具有扩展频谱的特性。

(3) 有较强抗噪声能力。

图3是产生m序列的线性移位寄存器结构,长度为N。

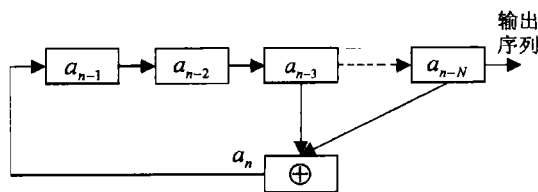


图3 m序列产生器

图中, $a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_{n-N}$ 分别是第1、2、3...N级寄存器的值, a_n 为某些寄存器值的模2和(\oplus)。输出取 a_{n-N} 。可见,序列由寄存器的初始值完全确定,具 $2^N - 1$ 周期。图4是系统中模拟的声诱饵产生的辐射噪声归一化波形,该波形由图3产生的m序列经调制后归一化而得。仿真中,取 $N = 16$ 。

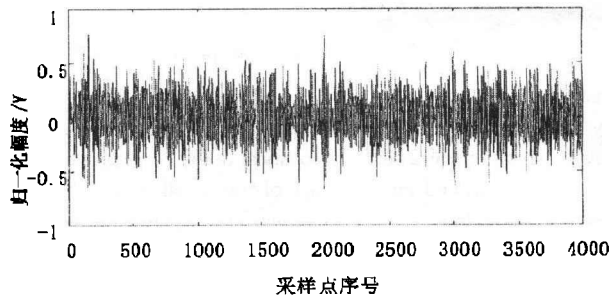


图4 声诱饵辐射噪声

3.2 声诱饵主动工作仿真

结合前面2.2小节给出的声诱饵主动工作过程的工作原理,仿真的目的就是在仿真平台上实现这些过程。由于信号的复制过程对仿真来说并不涉及更多的处理,因此仿真就着重针对鱼雷寻的信号检测和应答信号的生成过程。

3.2.1 鱼雷寻的信号检测

假设背景噪声为高斯白噪声,将其叠加在鱼雷寻的信号上归一化后如图5(a),合成信号频谱如图5(b)。

图5的处理手段表明,在一定的信噪比之下,叠加信号的线谱还是比较容易检测出的。这样,就实现了白噪声背景下寻的信号检测。

实际应用中,噪声背景并不是白噪声,而是包括潜艇辐射噪声、声诱饵辐射噪声、鱼雷辐射噪声及海洋背景噪声等在内的合成信号。将此合成信号视为加性色噪声,则问题变为在色噪声中检测寻的信号。

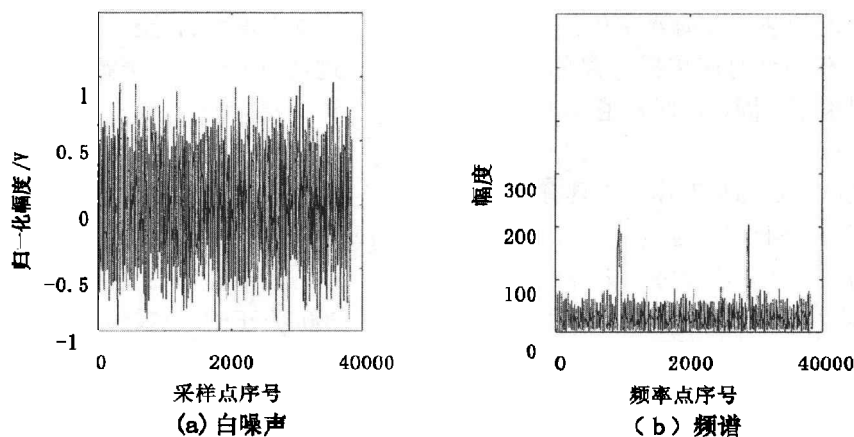


图 5 鱼雷寻的信号叠加白噪声(a)及其频谱(b)

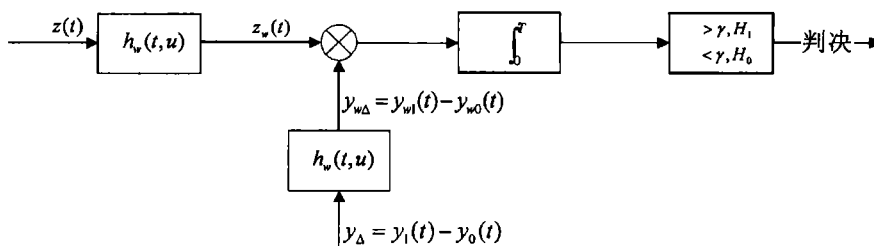


图 6 用白化法的色噪声接收机

我们对此的处理方法是对色噪声进行预处理,接收信号通过白化滤波器,在滤波器的输出端噪声就变成白噪声。建立如下二元假设检验模型:

$$\begin{aligned} H_1: z(t) &= y_1(t) + v(t), \quad 0 \leq t \leq T \\ H_0: z(t) &= y_0(t) + v(t), \quad 0 \leq t \leq T \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $z(t)$ 是接收波形; $y_1(t), y_0(t)$ 为鱼雷寻的信号; $v(t)$ 为加性色噪声。

在 $H_i (i = 0, 1)$ 假设下, 白化滤波器的输出为

$$\begin{aligned} z_w(t) &= \int_0^T h_w(t, u) z(u) du \\ &= \int_0^T h_w(t, u) [y_i(u) + v(u)] du \\ &= y_{wi}(t) + v_w(t) \end{aligned} \quad (2)$$

式中

$$y_{wi}(t) = \int_0^T h_w(t, u) y_i(u) du, \quad 0 \leq t \leq T \quad (3)$$

$$v_w(t) = \int_0^T h_w(t, u) v(u) du, \quad 0 \leq t \leq T \quad (4)$$

因为 $v_w(t)$ 是白噪声, 它的协方差函数为

$$\begin{aligned} C_{v_w}(t, u) &= E[v_w(t)v_w(u)] = \delta(t - u), \\ &0 \leq t \leq T \end{aligned} \quad (5)$$

式中, 设白噪声功率 $N_0 = 1$ 。将式(4)代入式(5), 得

$$\begin{aligned} &E[v_w(t)v_w(u)] \\ &= E\left[\int_0^T \int_0^T h_w(t, \alpha) h_w(u, \beta) v(\alpha) v(\beta) d\alpha d\beta\right] \\ &= \int_0^T \int_0^T h_w(t, \alpha) h_w(u, \beta) C_v(\alpha, \beta) d\alpha d\beta \\ &= \delta(t - u) \end{aligned} \quad (6)$$

由此可以解出 $h_w(t, u)$ 。于是, 问题简化为在白高斯噪声中的一般二元检测。它可由图 6 所示的接收机实现。

3.2.2 应答信号的生成

声诱饵诱骗鱼雷的应答信号是在复制的鱼雷寻的信号的基础上进行某些变换而得到的。这些变换包括信号幅度的增加、延时、信号的展宽以及加入多普勒频移等。

● 增幅

由于声波入射到潜艇后的回波加上了目标强度, 功率得到了一定的增强。故作为诱骗主动自导鱼雷的应答信号, 就必须进行一定程度的补偿。另外, 这也是为了欺骗“择大进攻”的鱼雷自导系统。仿真模拟是以一固定的目标强度值叠加在回波信号上。

● 延时

声波以一定的速度在海水中传播,因此从发射到接收回波会有一个对应传播距离的时间上的延迟。仿真模拟采用一固定的时延值。

● 展宽

由于声波以一定的角度作用于具有一定尺度的反射体如潜艇,在不同部位会造成程差;另外,声波在海洋中传播的多途效应及海水中各种散射体的散射作用等,使得返回接收点的回波与发射波形相比被明显地拉长了。故在应答信号的生成过程中必须反映这种现象,仿真模拟时给定一固定的展宽值。

● 多普勒频移

当声源与目标之间存在相对运动时,目标的回波信号会发生某些变化。当两者相向运动时,目标回波的频率就比发射信号的频率高;反之,目标回波的频率就比发射信号的频率低,目标回波与发射信号之间频率变化量称为多普勒频移。

仿真中模拟一固定的多普勒频移值,上述过程中有关参数从略。

4 声诱饵仿真应用分析

在声诱饵仿真研究的基础上,加入另外研制的鱼雷自导仿真模块和海洋声信道仿真模块,可以构成一个小型的水声对抗仿真系统。将上述声诱饵的仿真研究作为其中一个主要的模块,采用不同的水声对抗战术方案,进行了声诱饵战术使用的研究,给出了相关的结论。

仿真条件设定如下^[4]:鱼雷航程 13,000m,航速 35kn;潜艇巡航速度 18kn,噪声级 105dB,规避速度 30kn,噪声级 118dB。潜艇和鱼雷相距 2000m 时投放声诱饵,并加速规避。

表 1 是追击态势* (鱼雷(-4900, -3000),潜艇(0, 2000))时声诱饵不同声源级 50 次仿真的统计结果。

表 1 仿真结果 I

声诱饵工作方式	噪声模拟/dB				回波模拟/dB			
	130	135	140	145	180	185	190	195
发现诱饵次数	45	48	50	50	46	46	49	50
命中潜艇次数	44	40	30	30	45	40	30	30

可见,鱼雷发现诱饵的概率随声诱饵声源级的

增加而增大,直至 1。而命中潜艇的概率随之减小。这是因为声诱饵声源级增大导致鱼雷首先发现声诱饵,并对其进行攻击,使得潜艇有足够的时间逃逸,致使鱼雷航程耗尽。

表 2 声诱饵以主动应答方式工作(回波声源级 185dB)时各初始态势下 50 次仿真的统计结果。其中,追击态势*:鱼雷(-4900, -3000),潜艇(0, 2000);正横:鱼雷(0, -3000),潜艇(0, 2000);迎击:鱼雷(4900, -3000),潜艇(0, 2000)。

表 2 仿真结果 II

初始态势 回波模拟(185dB)	追击	迎击	正横
发现诱饵次数	46	47	47
命中潜艇次数	40	44	42

可见,在追击态势下,发现诱饵的概率和命中潜艇的概率最小,而迎击态势下最大,正横态势下介于两者之间。这是因为在追击态势下鱼雷攻击所经过的航程最大,而迎击时最小。

5 小结

本文从研究声诱饵的工作原理入手,分别仿真实现了一种声诱饵的主动和被动工作的声学模拟,包括声诱饵辐射噪声的模拟、鱼雷自导寻的信号的检测和应答信号生成的仿真实现等内容。主/被动联合工作的仿真可以由此简单叠加得到。

在此基础上,对声诱饵的战术使用进行了特定的仿真研究,其结果对型号的研制和使用具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 陆达人. 水面舰水声对抗系统研究[J]. 声学与电子工程, 2002, 增刊: 28-30.
- [2] 董阳泽. 声诱饵仿真评估系统的研究和实现[D]. 西安:西北工业大学, 2002. 69-85.
- [3] 林可祥, 汪一飞. 伪随机码的原理及应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 1978. 68-69.
- [4] 章新华. 水声对抗中舰艇规避声自导鱼雷的航速问题[J]. 兵工学报, 2002, 23(1): 84-85.

*:态势指在仿真系统中界面上的直角坐标值,1 坐标单位 = 1m。