

噪声干扰对被动声呐系统的影响及仿真分析

唐建生, 皇甫立

(水声对抗技术重点实验室, 北京 100094)

摘要: 在从信号处理的角度, 就干扰信号对被动声呐系统的目标信号检测、目标方位估计、接收系统饱和等方面的典型情况进行了仿真分析, 定义了噪声掩盖比、方位偏离度、噪声阻塞级等参数, 用以表征干扰信号对被动声呐系统的影响, 并给出了典型的仿真结果。

关键词: 被动声呐系统; 噪声干扰; 噪声掩盖比; 方位偏离度; 噪声阻塞级

中图分类号: TB556

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-05-0395-04

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2015.05.003

Effect of noise interference on passive sonar system and simulation analysis

TANG Jian-sheng, HUANG Fu-li

(Science and Technology on Underwater Acoustic Antagonizing Laboratory, Beijing 100094, China)

Abstract: In the paper, several typical effects of noise interference on passive sonar system are analyzed via signal processing method, which concern the key procedures of underwater passive sonar system, such as signal detection, DOA (Direction Of Arrival) estimation and system saturation. Three indices are introduced to evaluate the noise interference effects including the power ratio of signal to jammer, the error of estimated DOA and the block interference power. Simulation results that demonstrate the effect are given.

Key words: passive sonar system; noise interference; the power ratio of signal and jammer; the error of estimated DOA; the block interference power

0 引言

被动声呐系统通过检测目标的辐射噪声发现目标, 进而实现对目标的参数估计, 是水下探测目标的重要手段。被动声呐系统本身不发射声波, 不会暴露被动声呐系统的安装平台(或地理位置), 所以被广泛应用于海洋预警探测、舰艇被动声呐、鱼雷被动自导等^[1,2]。

噪声干扰是指通过发射干扰噪声信号, 阻碍被动声呐系统对目标信号的检测和参数估计, 是对抗被动声呐系统的手段之一^[3]。已有的研究从被动声呐方程出发, 从能量的角度对干扰被动声呐系统的原理进行了深入分析^[4], 给出了噪声干扰对被动鱼雷自导系统的作用区域, 为干扰手段的使用提供了依据。

本文从信号处理的角度, 分析了噪声干扰对被动声呐系统各个环节的影响, 分别就几种典型的干

扰情况定义了噪声掩盖比、方位偏离度、噪声阻塞级等参数, 用以表征干扰信号对被动声呐系统的影响, 并给出了典型的仿真结果。

1 被动声呐系统的组成

被动声呐系统一般由水声信号接收基阵、信号预处理、波束形成、后置功能实现和显控等五个部分组成, 图1给出了处理框图。

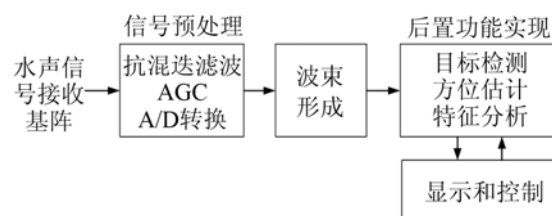


图1 被动声呐系统处理框图

Fig.1 Block diagram of the underwater passive sonar system

水声信号接收基阵由多个水听器组成, 水听器将水下声压信号转换为电信号, 是被动声呐系统的输入端。

收稿日期: 2014-12-25; 修回日期: 2015-03-10

作者简介: 唐建生(1978—), 男, 陕西宝鸡人, 高工, 工学博士, 研究方向为水声工程。

通讯作者: 唐建生, E-mail: tjsnpu@163.com

抗混迭滤波器是一种低通滤波器,其功能是滤除高于 $1/2$ 采样频率的频率成份。这样,在 A/D 转换过程中,就不会发生频率混淆现象。在实际声呐工作过程中,接收基阵输出的信号电平会存在很大波动,从弱的几微伏到强的几百毫伏。为了避免在接收弱信号时某些电路不能正常工作而丢失信号,而在接收强信号时,造成电路的过载阻塞(非线性失真),因此,信号放大增益不能是固定值。自动增益控制(Automatic Gain Control, AGC)根据输入的信号电平,动态调节信号的放大增益,使输出的信号电平在可接受的范围内。

波束形成是一种空间滤波技术,通过对空间上位置不同的多个阵元的接收信号加权处理,实现对特定方向目标信号的接收,同时抑制来自其它方向的信号和噪声,以提高接收信噪比。

根据波束形成的输出,首先判断是否有目标信号存在,如果有目标则估计目标存在方位,并分析目标的声信号特征,实现对目标的分类识别。将以上后置处理结果进行显示,并可以由操作人员控制,改变显示的频段、幅度等。

2 噪声干扰被动声呐系统原理分析

被动声呐系统一般仅具有定向能力,在某一波束观察区域内,对干扰前、干扰后、以及同时有干扰和目标时三种情况分别讨论:

(1) 干扰前,被动声呐系统仅接收到环境噪声,此时环境噪声是被动声呐系统观察目标的背景噪声。

(2) 干扰后,在干扰所在波束扇面内,被动声呐系统接收到环境噪声和干扰器的辐射噪声。此时,干扰器在被动声呐系统中作为一个目标处理,应满足

$$SL_j - TL_j + DI - NL \geq DT$$

其中: SL_j 和 TL_j 分别表示干扰器的声源级和传播损失; DI 表示探测系统的指向性指数; NL 为背景噪声; DT 是检测阈。

为了达到干扰效果,一般有 $SL_j - TL_j + DI \gg NL$, 因此干扰的辐射噪声成为了被动声呐系统的背景噪声。

(3) 同时有干扰和目标时,被动声呐系统在干扰器辐射噪声的背景上,加上目标的辐射噪声信号。声呐系统能否检测到目标,决定于声呐系统输出端的信号和噪声功率比。此处由于干扰的辐射噪声成为背景,同时由于声呐系统对干扰器和目标都有增益,因此声呐系统能否检测到目标只决定于到

达声呐系统接收端的信号和干扰能量比。一般地,在声呐输出端信号能量应大于背景噪声(此处为干扰)才能实现一定概率的检测;同理,在声呐输出端背景噪声(此处为干扰)能量大于信号时就可以实现对信号的遮蔽,即干扰成功。

3 噪声干扰对被动声呐系统的主要影响

根据噪声干扰信号的强弱以及实现的干扰效果,噪声干扰可以分为:

(1) 干扰目标检测

使背景噪声级增大,降低信噪比,干扰被动声呐系统对目标的检测。

(2) 干扰参数估计

干扰被动声呐系统对目标的定位、识别和跟踪。

(3) 接收系统饱和

干扰信号足够大,使被动声呐系统的传感器出现非线性饱和,被动声呐系统完全不能正常工作。

(4) 物理损伤

噪声干扰信号足够大,使被动声呐系统的物理组成部分发生物理损伤,被动声呐系统彻底丧失工作能力。

实现传感器饱和及物理损伤所需的声能量非常大,实现起来比较困难,目前的水声对抗技术以实现干扰目标检测和参数估计为主。近年来,水下强声技术得到重视并不断发展,为实现传感器饱和和物理损伤提供了技术途径。

4 仿真分析

4.1 仿真条件

设定一个 64 元均匀线列阵,阵列间距按照 500 Hz 的半波长布置,处理频段为 5~500 Hz。仿真产生舰船辐射噪声作为目标信号。舰船辐射噪声谱在 20~200 Hz 频段内存在两根线谱,线谱强度相差 5 dB,最大线谱强度为 140 dB,200~500 Hz 范围内的舰船航行噪声按 -6 dB/oct 衰减,设定 200 Hz 处的谱级为 130 dB。舰船辐射噪声仿真如图 2 所示,线谱设定在 50 Hz 和 150 Hz 处。

仿真产生的海洋环境噪声在 100 Hz 后按 -6 dB/oct 衰减,考虑 1000 Hz 处的谱级为 64 dB。海洋环境噪声仿真如图 3 所示。

干扰源信号采用高斯白噪声进行仿真,设定 5~500 Hz 频段内声源级为 160 dB。

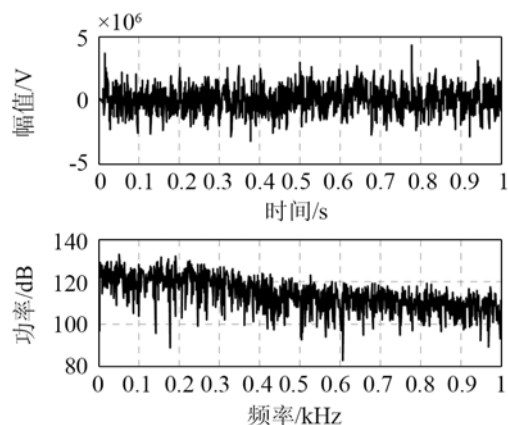


图2 仿真的舰船辐射噪声
Fig.2 Simulated ship-radiated noise

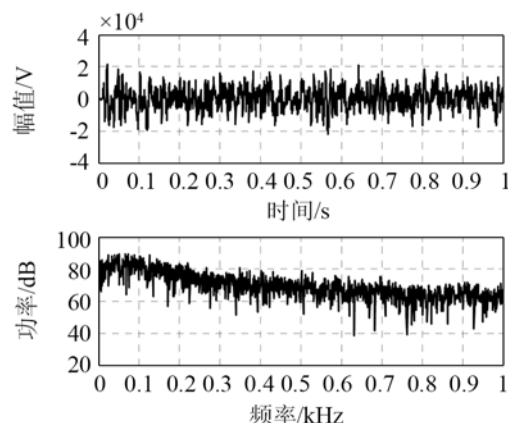


图3 仿真的海洋环境噪声
Fig.3 Simulated ocean ambient noise

4.2 干扰目标检测

当目标和干扰不在同一波束时, 噪声干扰通过对目标波束的能量泄漏实现对目标检测的干扰, 图4给出了干扰和目标的相对位置关系。

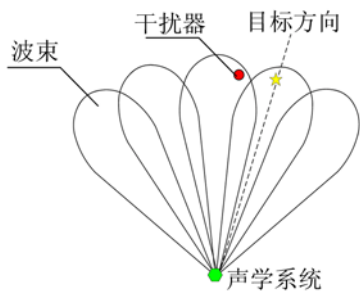


图4 干扰和信号的相对位置关系
Fig.4 Directions of interference and signal in the case where jammer and target not in the same beam

此时, 目标方向的能量输出为

$$SL(t) - TL(t) + DI(\theta_t) \Big|_{\theta_t}$$

干扰方向的能量输入为

$$SL(j) - TL(j) + DI(\theta_j) \Big|_{\theta_j}$$

定义噪声掩盖比

$$\chi(\theta_i, \theta_j) = \left\{ \frac{SL(j) - TL(j) + DI(\theta_j) \Big|_{\theta_j}}{SL(t) - TL(t) + DI(\theta_t) \Big|_{\theta_t}} \right\}$$

表示 j 方向的干扰对 t 方向目标的掩盖比。

干扰对信号的掩盖区域可以表示为

$$\{\theta_i, R(t) | \chi(\theta_i, \theta_j) \geq C\}$$

式中, C 为能实现掩盖的最小分贝值。

图5给出了仿真结果, 干扰前目标检测的背景噪声是环境噪声的输出, 干扰后是干扰在旁瓣的泄露值, 从而干扰了对目标信号的检测。

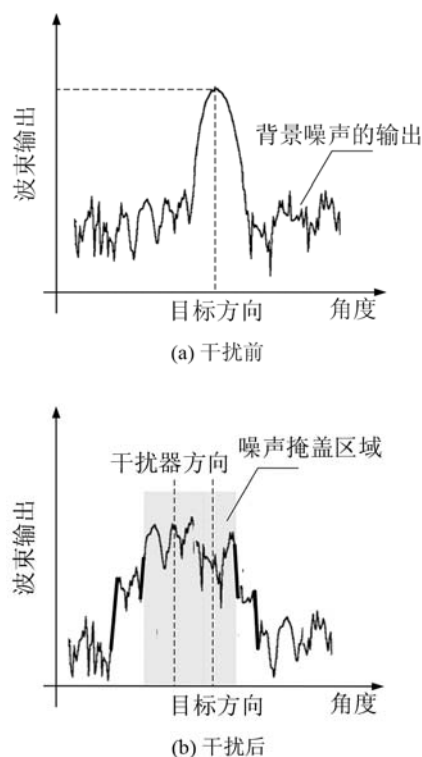


图5 干扰前后被动声呐系统的输出结果
Fig.5 Outputs of underwater passive acoustic system when jammer occurs or not

4.3 干扰目标方位估计

当目标和干扰在同一波束时, 被动声呐系统估计的目标方位将偏离真实的目标方位, 从而影响对目标方位的估计。图6给出了干扰和目标的相对位置

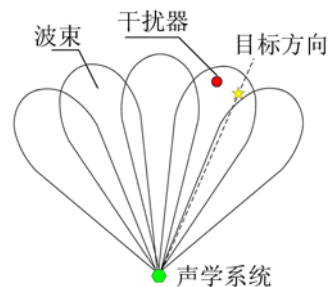


图6 干扰和信号的相对位置关系
Fig.6 Directions of interference and signal in the case where jammer and target in the same beam

置关系。

此时声学系统估计目标方位将指向干扰方位和目标方位的等效中心,如图7所示。等效中心与目标和干扰的方位和能量有关,可以用下式表示目标方位估计的偏离。

$$\delta(\theta_i, \theta_j, p_i, p_j) = \{\hat{\theta}_i - \theta_i\}$$

图8给出了仿真结果,干扰后估计的目标方位偏离了目标的真实方位值,而是指向了干扰方位和目标方位的等效中心。

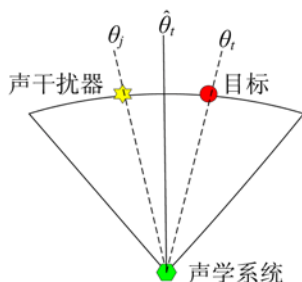


图7 干扰信号方位、信号真实方位和估计的信号方位的相对位置关系

Fig.7 Estimated signal direction and real directions of interference and signal

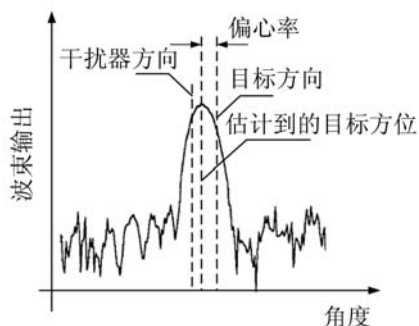


图8 干扰信号方位、信号真实方位和估计的信号方位的仿真结果

Fig.8 Estimated signal direction and real directions of interference and signal from simulation

4.4 接收系统饱和

当干扰信号足够大时,超过了被动声呐系统前

置信号处理(包括前置放大器、自动增益控制 AGC 等)的动态范围,使得接收系统无法正确实现 A/D 转换,从而无法感知目标信号。

以噪声干扰装置距离接收系统 1000 m 为例,假设阵元接收灵敏度为-180 dB 时,要使得接收系统饱和需要满足:

噪声阻塞级>传播损失+

最大允许输入电压(dB)-灵敏度=

$$66+20 \lg (5 \mathrm{v} / 100)+180=220 \mathrm{dB}$$

5 结束语

本文从信号处理的角度分析,就干扰信号对目标信号检测、目标方位估计、接收系统饱和等方面的典型情况进行了仿真分析,并引入噪声掩盖比、方位偏离度、噪声阻塞级等参数,用以表征干扰信号对被动声呐系统的影响。本文仅对干扰被动水声探测系统部分内容进行了分析,比如在干扰参数估计方面还可以分析对目标识别、目标运动参数估计等的影响。

参 考 文 献

- [1] Burdic W S. Underwater Acoustic System Analysis (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
- [2] 李启虎. 声呐信号处理引论[M]. 2 版. 北京: 海洋出版社, 2000. LI Qihu. Introduction on sonar signal processing[M]. 2nd ed. Beijing: Ocean Press, 2000.
- [3] 皇甫立. 新形势下我国水下信息对抗技术和装备发展方向的探讨[J]. 舰船论证参考, 2000, 103(3): 13-15. HUANG Fuli. Discussion on the development direction of underwater Warfare Technology and equipment under the new situation[J]. Ship Demonstration reference, 2000, 103(3): 13-15.
- [4] 陈春玉. 反鱼雷技术[M]. 北京: 国防科技出版社, 2006. CHEN Chunyu. Anti-torpedo technology[M]. Beijing: National Defense Science and Technology Press, 2006.