第四章 声引信被动定位技术研究

4.1引言

水雷声引信作为水雷探测感知外界环境的重要设备，需要拥有比较远的探测距离，比较精准的定位能力以及识别能力。目前应用于水雷定位的方法包括三点定位法、TMA、MFP等等。

所谓三点定位法，是一种通过几何原理进行测距的方法。即通过建立舰船发出的噪声信号在水中的传播衰减模型（球面波衰减模型），通过测量各个传感器接收信号的时延来对目标的位置进行估计，从而获取目标与水雷之间的距离信息。但是这种方法有几个缺点：测距结果严重依赖于水雷传感器平台的稳定程度以及各个传感器之间的位置关系；需要建立比较精确的舰船噪声在海水中的传播衰减模型才能保证比较小的定位误差，另一个问题是随着距离的增加，各个传感器接收到的信号之间的变化量越来越小，难以保证足够的测量精度，所以对于水雷的小型传感器阵列来说，很难通过这种方法来测距定位远距离目标。

4.2 对水面目标的定位原理

4.2.1目标定位原理

目前大部分研究中采用的定位方法都是通过测量水雷位于水面之下的深度以及舰船相对于水雷位置的仰角来判断舰船与水雷之间的距离的，如下图所示：



由于在布置水雷的时候可以预知水雷深度BC的值，则在水雷的实际运作之中可以通过实时的测量舰船相对于水雷的仰角值θ，就可以获得舰船与水雷的距离值在水平面上的投影长度：，并设置水雷的启动距离，当AB的长度小于该启动距离门限的时候，就触发水雷。

实际的水雷探测装置往往是由多个传感器以一定的空间位置关系构成的传感器阵列，下面以两个传感器的情况为例推导传感器接收舰船噪声时延与舰船仰角θ之间的关系。

舰船和水雷传感器之间的位置关系如下图所示：



舰船相对水雷传感器B和传感器C的仰角分别为θ1和θ2。假设传感器BC之间的距离为L，水雷距水面的距离AD为h，则有：

联立两式，消去CD即可得到：。在实际情况中，有hL，故有。

则水雷传感器阵列的形式可以简化成下图：



则根据BC长度L以及时延可以估计舰船仰角θ的大小：

其中是声音在海水中的传播速度。

从上式中可以看出，由于声音在海水中的传播速度以及水雷传感器阵列之间的位置关系相对固定，所以舰船相对于水雷的仰角的精度主要依赖于水雷传感器对于时延的估计精度。

4.2.2 时延估计方法

在水雷声引信研究领域中关于时延估计的方法有很多，包括互相关法以及互相位谱定位法等等。对于频谱比较宽的信号来说，常用的方法有广义互相关法以及自适应时延估计等等方法。其中互谱法是通过计算接收到的两个信号之间的互功率谱的相角来实现的，而由于同一信号的互相关函数的峰值在时间上的偏移量可以表示两个信号之间的时延，所以互相关法就是通过计算两个不同的传感器接收到的信号的互相关函数来估计信号的时延的。这种方法的优点在于可以不用预先了解舰船噪声的特性以及背景环境的干扰的先验知识，可以在动态的接收信号环境中拥有很好的表现，而缺点在于运算量比较大，对于水雷这种水下小平台来说难以满足设计要求。

由于舰船发出的噪声具有一定程度的不可控性，其声音信号会在一定的频谱范围之内波动，所以我们难以使用窄带模型对其进行分析，故在舰船噪声信号的检测问题上，采用宽带噪声模型对其建模比较合适。

首先对信号的互相关法进行分析，假设水雷传感器阵列之中两个传感器接收到的信号分别为：

则两个信号的互相关函数为：

由于信号和噪声互不相关，所以它们之间的互相关函数为零，故有：

由此可知，互相关函数R(t)在t=处取得最大值，故可以根据互相关函数最大值在时间轴上对应的位置来估计两个函数的时延值大小。

广义互相关法是在互相关法基础上建立起来的时延估计方法。它是在两个接收信号在做互相关之前加上一级特定的滤波器进行处理，再进行相关操作的方法。

如果设两个接收信号的前置滤波器的系统函数分别为和，则信号和信号的广义滤波函数可以表示为：

其中代表两个信号的互功率谱函数。FT{\*}代表傅里叶变换。

4.3基阵设计

4.3.1 定向方法（1.2.3三种设计方案）

由于对于水雷的传感器阵列来说，舰船出现的位置点集合可能是整个三维空间，所以我们需要设计一种基阵结构，使得它可以通过时延估计测量整个三维空间上的舰船位置。下面通过分析几种常用的舰船传感器基阵结构来分析不同结构的估计特性，为后文分析其定位精度与误差做铺垫。

1. 平面直角阵列

平面直角阵列的构造如下图所示：



在平面直角阵列之中，ABC三个传感器构成一个等腰直角三角形，由此构建三维直角坐标系，令三点坐标分别为：A(0,0,0),B(L,0,0),C(0,L,0)，若舰船位于空间D点且坐标为(x,y,z)，可得方程：

其中，分别代表D点到A、B、C三点之间的距离。

1. 等边三角形阵列

等边三角形阵列的构造如下图所示：

1. 正三棱锥阵列

正三棱锥阵列的构造如下图所示：

4.3.2 定向误差分析

4.3.3 定向精度分析

由第一节的分析可知，定位的精度主要取决于舰船仰角的估计以及水雷位于水下深度的测量。下面分析这两个量对水雷与舰船的测距误差之间的关系：

由上式可以看出，距离测量误差主要与水雷深度测量误差成正比，下图是舰船仰角在不同的水雷深度测量误差之下与舰船距离测量误差之间的关系图：

由上图可以看出，当舰船的仰角小于60度时，水雷的深度测量误差对舰船测距误差的影响比较小。

通过推导，可以得到舰船仰角与水雷传感器基阵测距误差之间的关系：

通过比较不同舰船仰角误差条件下的舰船仰角-水雷测距误差曲线，可以看出，在舰船仰角超过60度时，水雷测距误差随着舰船仰角的增大而急剧增大。

4.4 比较试验数据（现成的数据 现成的图 只需要分析一下）

4.5本章小节