

# 声呐信号测向技术仿真研究及实现

马 静 史新华 马远良

(西北工业大学航海工程学院 西安 710072)

1995年6月28日收到

**摘要** 方位估计是声呐信号处理中的一个核心问题,本文基于分裂波束原理,针对声呐系统中常用的单频CW信号和双曲调频HFM信号,给出了CW信号的互谱法定向和HFM信号的正交相关法定向的方法,计算机仿真实验分析了本文方法的精确性.

**关键词** 目标测向,互谱法,正交相关

## Simulation and implementation of sonar signal bearing estimation

Ma Jing, Shi Xinhua, Ma Yuanliang

(College of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xian 710072)

**Abstract** Bearing is an important part in sonar signal processing. Based on the split beam theory, this paper presents mutual spectrum method of bearing for CW signal, and orthogonal correlation approach for HFM signal. Computer simulation have checked the accuracy of the above methods.

**Key words** Bearing, Mutual spectrum, Orthogonal correlation

### 1 引言

目标测向是目标参数估计中的重要研究内容,方位估计器是水下定位与跟踪系统中必不可少的装置.分裂波束定向法是目前用得最普遍的一种测向方法,对于线列阵或与其类似的基阵来说,分裂波束定向法的精度接近于克拉美·罗下限.

对于两个基元的阵系统来说,信号的入射角 $\theta$ 与时延 $\tau$ 的关系是非常简单的,那就是 $\tau = d \sin \theta / c$ .但是,对于多个基元的系统,信号之间的时延参差不齐,我们要建立起信号入射角 $\theta$ 和时延的关系,并不是一件轻而易举的事.本文首先分析推导了圆弧阵分裂波束测向

的方位角解算公式,然后给出了单频CW信号和双曲调频HFM信号分裂波束测向的具体的实现方法.在此基础上,系统地仿真了在不同频率、不同入射角、不同信噪比情况下,CW信号和HFM信号分裂波束测向的性能,从中可以看到,本文所采用的测向方法具有较高的测向精度.最后,又完成了分裂波束测向的80286汇编语言实现.

### 2 圆弧阵分裂波束测向

图1给出了圆弧阵分裂波束系统的示意图.圆半径为 $r_0$ ,相邻两基元的夹角为 $\alpha_0$ , $N$ 为基元总个数.为计算方便起见,我们设共有 $2M+1$ 个基元参与形成一个波束( $2M+1 <$

$N$ ), 把左波束  $l(t)$  的工作基元编为  $-M$  至  $0$ , 而右波束  $r(t)$  的工作基元编为  $0$  至  $M$  号. 我们要计算  $l(t)$ 、 $r(t)$  之间的时延和信号入射角的关系.

设输入是单频信号  $\cos(2\pi f_0 t)$ , 第  $i$  个基元收到的信号是

$$s_i(t) = \cos\left\{2\pi f_0 \left[t + \frac{r_0}{c} \cos(\theta - i\alpha_0)\right]\right\} \quad (2.1)$$

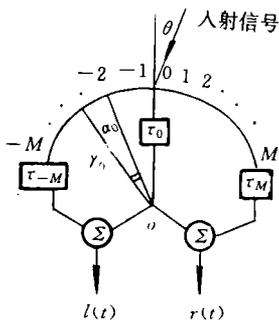


图1 圆弧阵分裂波束示意图

将波束主轴定向在  $\theta_0$  方向, 各基元相对圆心要补偿的延时为  $\tau_i(\theta_0)$ .

设  $\theta_0 = j\alpha_0$ ,  $j=1, \dots, N$  于是左波束信号是

$$\begin{aligned} l(t) &= \sum_{i=-j-M}^j \cos\{2\pi f_0 [t + \tau_i(\theta) - \tau_i(\theta_0)]\} \\ &= u_l \cos 2\pi f_0 t + v_l \sin 2\pi f_0 t \\ \because \theta - \theta_0 \rightarrow 0, \quad \therefore \sin \frac{\theta - \theta_0}{2} &\rightarrow 0 \end{aligned}$$

式中

$$u_l = \sum_{i=-j-M}^j \cos\{2\pi f_0 [\tau_i(\theta) - \tau_i(\theta_0)]\} = M + 1 \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} v_l &= \sum_{i=-j-M}^j \sin\{2\pi f_0 [\tau_i(\theta) - \tau_i(\theta_0)]\} = \\ &= \frac{2f_0 r_0 (\theta - \theta_0) N}{c} \sin\left(\frac{M}{2}\alpha_0\right) \sin\left(\frac{M+1}{2}\alpha_0\right) \end{aligned} \quad (2.3)$$

我们可以把  $l(t)$  重新写成单频信号的形式, 设其相位为  $\alpha$

应用声学

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{tg}^{-1}(v_l/u_l) \approx v_l/u_l \\ &= -\frac{2r_0 f_0 (\theta - \theta_0) N}{c(M+1)} \sin\left(\frac{M}{2}\alpha_0\right) \sin\left(\frac{M+1}{2}\alpha_0\right) \end{aligned} \quad (2.4)$$

类似地可以得到右波束信号的相位角  $\beta$

$$\beta = \frac{2r_0 f_0 (\theta - \theta_0) N}{c(M+1)} \sin\left(\frac{M}{2}\alpha_0\right) \sin\left(\frac{M+1}{2}\alpha_0\right) \quad (2.5)$$

由此我们便求出时延  $\tau$  与入射角  $\theta$  间的关系

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{2r_0 (\theta - \theta_0) N}{c(M+1)\pi} \sin\left(\frac{M}{2}\alpha_0\right) \sin\left(\frac{M+1}{2}\alpha_0\right) \\ &= k(\theta - \theta_0) \end{aligned} \quad (2.6)$$

这个式子中的常数  $k$  在精确测向系统中起重要作用, 它是  $\Phi$ 、 $\theta$  之间换算的比例因子.

### 3 两种信号的精确定向系统

#### 3.1 CW 信号的互谱法定向

CW 信号是一种简单的常用信号, 本文采用的是方波包络的余弦信号. 要想估计信号入射方位  $\theta$ , 只要估计左右波束相位差  $\Phi$  即可. 用计算两个信号的功率谱来估计信号之间的时延, 这个方法可用到分裂波束系统, 是数字声呐精确定向的一种新方法.

我们考虑左右波束信号  $l(t)$  和  $r(t)$ , 用  $L(f)$ 、 $R(f)$  分别表示左、右波束信号的傅里叶变换, 作  $L(f)$ 、 $R(f)$  的互谱  $Z(f)$

$$Z(f) = L^*(f)R(f) = e^{j(\beta-\alpha)} |L(f)| |R(f)| \quad (2.7)$$

可见, 左、右波束相位差  $\Phi = \beta - \alpha$  的信息, 存在于左、右波束信号的互功率谱  $Z(f)$  的相位角之中. 由此, 给出 CW 信号互谱法测向系统的原理框图:

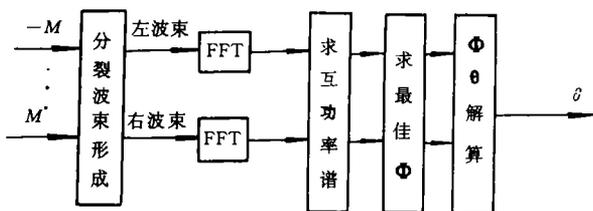


图2 CW 信号互谱法测向系统原理框图

### 3.2 HFM 信号的正交相关法定向

双曲调频信号(简称 HFM)是一种特殊的非线性调频信号. HFM 信号的谱线分量非常丰富, 相位信息存在于这众多的谱线之中. 如果继续采用互谱法来定向, 就要求许多谱线对应的相角并加权平均, 这样不仅运算量加大, 而且定向精度很不理想. 根据时域正交原

理和最大似然估计原理, 若信号  $s(t) = \cos(\omega t + \varphi_0)$ , 对信号乘以两个互为正交的分量  $\cos(\omega t)$ 、 $\sin(\omega t)$  再进行互相关运算, 就可以得到信号的相位信息  $\varphi_0$ . 正交双通道相位估计器的原理框图如图 3 所示. 其中互相关处理部分也可以用匹配滤波器来实现. 本文在频域来实现匹配滤波. 这里给出 HFM 信号正交相关法测

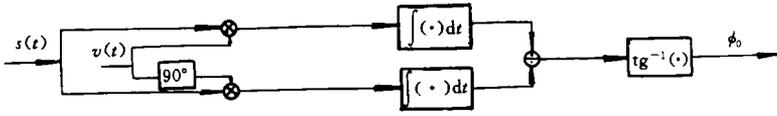


图 3 正交双通道相位估计器的原理框图

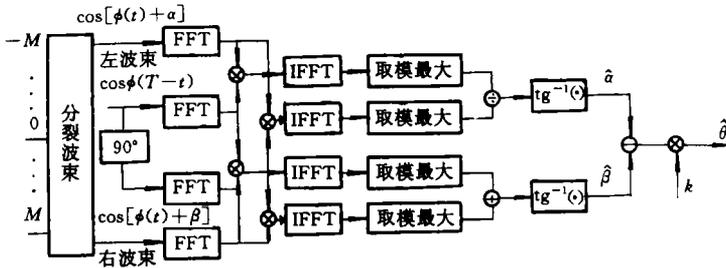


图 4 HFM 信号正交相关法测向原理框图

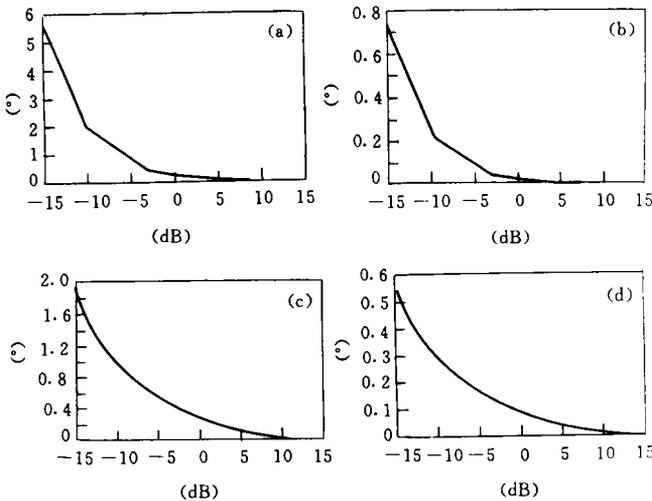


图 5 计算机仿真实验误差曲线

- (a) CW 信号入射角  $\theta = 15^\circ$
- (b) CW 信号入射角  $\theta = 5^\circ$
- (c) HFM 信号入射角  $\theta = 15^\circ$
- (d) HFM 信号入射角  $\theta = 5^\circ$

向的原理框图,如图4所示。

## 4 仿真实验结果

依据上述各原理框图,我们在不同输入信噪比,不同入射角,不同信号频率下进行了C语言和80286汇编语言的计算机仿真实验。图5分别给出了CW信号和HFM信号测向的误差曲线。

从图中可以看出,测向误差与输入信噪比、入射角之间的关系。入射角增大时,误差

增大,这是因为(2.4)、(2.5)式的近似本身引入了计算误差。当波束宽度不太大时,系统将会在简单运算下取得较高精度。

## 参 考 文 献

- [1] 李启虎著,声呐信号处理引论,海洋出版社,1985。
- [2] 朱鹭著,主动声呐检测信息原理,海洋出版社,1990。
- [3] 田婉逸 张效民,信号检测与估值,西北工业大学出版社,1990。

---

## 第九届国际光声光热会议在南京举行

经国家教委批准,第九届国际光声光热会议由南京大学主办。于1996年6月27日至30日在南京举行。中科院院士,南京大学声学研究所所长张淑仪教授任会议主席。会议得到国家教委、国家科委、国家自然科学基金委、国际理论物理中心和多家国内外公司的支持和赞助。

来自中、美、德、法、俄、加拿大、日本等30个国家的200多位专家和学者参加了会议,其中国外代表占三分之二,国外的代表中有近代光声学的奠基者美国的Rosencwaig教授,以及其他光声光热领域的国际著名专家:俄罗斯科学院院士Lyamshev教授,法国Boccar教授,德国Hess教授,日本Sawada教授,瑞士的Sigrst教授以及IBM公司的Tam和Coufal博士等。国内代表中有应崇福教授,冼鼎昌教授,魏荣爵教授和张淑仪教授四位中国科学院院士。南京市副市长张连发,南京大学副校长袁传荣教授在开幕式上致词,副校长蒋树声教授和李鬻教授分别在欢迎招待会和庆祝宴会上致词。

会上,代表们提交了300多篇论文,反映了国际上光声与光热科学的最新研究成果。其中我国代表提交57篇论文报告,得到与会代表的高度赞扬。大会的特邀报告由国际知名学者对本领域的研究进展进行了

回顾和展望,其中有:美国的Rosencwaig教授对二十余年来近代光声热波科学发展进行了回顾,俄国Lyamshev院士评述了辐射声学的研究进展,应崇福院士对北京声学所和德国IzfP的有关研究成果进行了介绍等等。此外会议还首次对超快速光声光热现象及超短脉冲激光激发特高频超声方面的研究进展进行了较深入细致的交流。

并更重视光声光热科学技术在工业、农业、生物、海洋及环境科学中的应用。与会的国内外代表一致认为本届会议开得非常成功,成绩卓著。

会议期间,代表们参观了南京大学声学研究所和近代声学国家重点实验室,对南京大学声学所能在自己研制的光声光热系统上作出高水平的工作和建成国际一流的激光超声实验室给予高度的评价。有十多个国家(美、俄、加、德、法等)表示要与我国进行广泛的合作和交流。

会议论文集将作为我国《自然科学进展》杂志的增刊于年内出版。

会议国际顾问委员会决定,第十届国际光声光热会议于1998年9月在意大利罗马召开。

(南京大学声学研究所 章肖融)