

参量阵水下通讯

邵道远 钱祖文 张彬铨 张金城

(中国科学院声学研究所)

1981年7月14日收到

一、引言

随着海洋开发和水下潜艇航行的需要,水下信息的传送已成为日益重要的问题。对于潜艇水下通讯、深海水下摄影及水下电视的长距离无线传输,声波是一种有效的传输工具。通常的线性声学水下声通讯系统存在着指向性与传送距离的矛盾。为了减少多径干扰,必须提高发射器的指向性,亦即提高工作频率,从而就要牺牲作用距离。

近年来非线性声学参量阵问世。这种声学系统是用小尺寸换能器发射两个不同频率(或频段)的声波(下称原频声波),通过水中非线性相互作用,产生了新的差频源,从而辐射差频声波。它的远场声压振幅可近似写为^[1]

$$P_d = \frac{\omega_s^2 P_0^2 S_0 \beta}{8\pi R_0 \rho_0 c_0^4} \cdot \frac{1}{\left[\alpha^2 + K_s^2 \sin^4 \left(\frac{\theta}{2} \right) \right]^{1/2}} \quad (1)$$

式中 ω_s 是差频波的角频率,它是两个原频波频率 ω_1 与 ω_2 之差。 P_0 为原频波的声压振幅。 S_0 是原频波束的横截面积。 β 是介质的非线性参数。 $\alpha \simeq \alpha_1 + \alpha_2$, 为两个原频波的吸收系数之和。 K_s 是差频波数。 ρ_0 和 c_0 分别为介质的密度和声速。 R_0 是从发射点到接收点的距离。 θ 是离开声轴的角度。由(1)式可以求出半功率点波束宽度

$$\theta_d = 2 \sqrt{\frac{\alpha}{2K_s}} \quad (2)$$

由上式可知,这种波束的指向性是非常尖锐的。例如,发射平均频率为 100 千赫的原频波,差频

应用声学

为 10 千赫时, $\theta_d \simeq 2^\circ - 3^\circ$ 。用通常的换能器发射这样尖锐的 10 千赫声波,要求换能器的直径将近米的量级。而参量阵的换能器尺寸可以缩小一个量级。由此可见,声参量阵发射低频高指向性声波是很方便的。因而能够达到减少多径干扰的效果。

参量阵不仅波束窄而且频带宽。因为原波频率只要有百分之十的调制带宽,差频波就可以得到几个倍频程的带宽,所以其信息容量大,而且能使信息传输的保真度好。此外,指向性尖锐不仅大大减少多径干扰,而且可以减小由于传播起伏所引起的失真干扰。由此可见,声参量阵是水下信息传输的优良手段。

本文介绍我们利用参量阵在水下传送语言、音乐等信息的原理方法,以及在水池和水库中进行的方案试验结果。

二、原理和方法

设要传输的信号波形为 $f(t)$, 将它载入原频波的一路,另一路发射固定频率,向水中发射等幅波

$$P(t) = \cos \omega_1 t + \cos (\omega_2 t + \int_0^t f(t) dt) \quad (3)$$

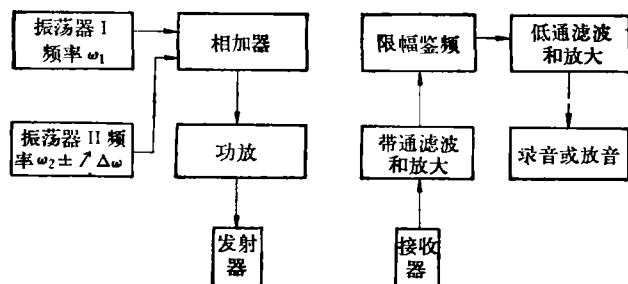
通过水的非线性相互作用后,差频波为

$$P_d(t) \sim \cos \left[(\omega_2 - \omega_1)t + \int_0^t f(t) dt \right] \quad (4)$$

将上式进行微分并检波,其输出即为 $f(t)$ 。

三、实验设施

根据上述原理,可以设计发射和接收的方



参量阵水下通讯方框图

框图如上。图中振荡器 I 是频率为 ω_1 的固定频率振荡器, II 是中心频率为 ω_2 , 最大频偏为 ± 10 千赫的线性调频振荡器, 它们的输出信号经过线性相加器送到功率放大器并激励发射换能器。接收信号经过带通滤波、放大、限幅、鉴频等处理后, 供录音或监听。

为了充分利用参量阵的宽带特性, 来达到高保真度的水下信息传输, 必须设计线性较好的调频振荡器和鉴频器。调频是用变容二极管实现的。适当地选择变容二极管的偏置电压和调制电压的变化范围, 可以得到比较满意的线性调频振荡。在参量信号中, 由于 $(\omega_1 - \omega_2) \sim \Delta\omega$, 采用 RC 鉴频器是可取的。RC 鉴频器不仅简单而且线性好, 有较好的鉴频效果。

四、实验结果与展望

此项工作于 1980 年初开始进行, 一共进行了三次方案试验。第一次在水池 ($3 \times 4 \times 200$ 米), 发射与接收相距 160 米, 声音稍有失真。第二次在昆明湖, 距离约 300 米。第三次在官厅水库, 距离 100 米左右, 用的是 RC 鉴频器, 音质较好, 传达了立体声音乐, 得到了比较满意

的结果。

利用参量阵进行水下通讯, 是一个很有吸引力的研究课题, 国外也在进行。当我们完成这项工作后, 看到了美国海军水下系统中心 (NUSC) 报道^[1]了他们的工作结果。利用 4 千瓦功率的发射机, 进行水下通话、音乐传送和电视传送试验, 达到 3.9 公里的作用距离。他们使用的功率比我们高 20 多分贝, 根据我们的实验结果来看, 是可能达到这样的作用距离的。从而可以看出, 虽然参量阵的转换效率较低, 但是仍然能够达到所希望的作用距离。特别是, 在解决传输距离与多径干扰的矛盾上, 有它的独特的本领。

综上所述, 声参量阵水下信息传送具有保真度高、干扰小以及保密性强的优点, 适合于海中远距离信息传输、潜艇通话和水下电视信息传送等方面的应用。

参 考 文 献

- [1] P. J. Westervelt, *JASA*, 35(1963), 535.
- [2] W. L. Konrad, *Proc. Conference Underwater Appl., Nonlinear Acoustics*, Bath Univ Press, 1979.