

直線排列 hydrophone에 의한 水中音源의 分析

張 志 元 · 鄭 仲 鉉 · 徐 斗 玉
釜山水産大學 應用物理學科 濟州大學 漁撈學科

Directive Spectrum Analyzing System
Using a Linear Hydrophone Array

Jee-Won CHANG and Jung-Hyun JEONG

Department of Applied Physics, National Fisheries University of Busan,
Namgu, Busan, 601-01 Korea

Doo-Og SUR

Department of Fishing Technology, National Jeju University,
Jeju, Jejudo, 590 Korea

The direction and spectra of underwater sound wave were a remarkable contrast to the sound wave in the air because of the difference of transmissive medium. The linear hydrophone array of passive system has so far been applied to find out the direction and spectra of underwater sound wave from the sources for many purposes. The conventional methods are generally classified into two systems such as, the system which varying frequency responses, other parameters and pattern of signal like an adaptive array controlled by internal feedback, and another system which obtaining maximum of S/N ratio by giving a appropriate delay and a weighting coefficient in the output of each hydrophone. The array device of passive system can easily change the amplitude and the phase of signal by separately controlled hydrophone.

And here we introduce a method that the spectral analyzing and the direction finding can be simultaneously carried out using a linear array of hydrophones. By making a circular convolution of output of signal from each hydrophone with appropriate rectangular weighting coefficient on the array, a sharp response of single lobe directivity and the spectral analyzing by time averaging were simultaneously obtained.

In the computer simulation of the array system with the length of 250cm and the interhydrophone distance of 10cm, the power levels of sound signals received from given array direction were 16dB higher than those from the other directions when processing with rectangular weightings, and 8dB higher when processing with rectangular sound signals and rectangular weightings.

序 論

水中音源의 方向과 周波數의 分析은 空氣中에 있어서의 것과 그 方法에 있어서는 차이가 없으나 方

向檢出에 있어서는 어려운 點이 많다. 水中音波가 媒質을 通하여 傳播되는 特性이 空氣中과는 相當한 差異가 있으므로 이를 잘 把握할 必要가 있다. 水中音波의 檢出에 있어서는 受動系의 경우 대개가 排列

hydrophone을 사용하고 있다. 排列裝置에는 adaptive方式과 같이 信號의 pattern, 周波數應答 혹은 다른 parameter 등을 内部歸還에 의해서 制御하는 것도 있으며, 各 排列要素에 附加한 weighting 係數를 調節하여 S/N 比를 最大化하는 것등이 있다.

그런데 受動系의 排列裝置의 pattern은 各 hydrophone으로 부터 나오는 信號의 出力과 位相을 各 別個로 調整함으로써 쉽게 變化시킬 수 있다.

本 論文에서는 任意時刻에 있어서의 直線排列 hydrophone의 各各이 지니고 있는 信號의 出力과 그 各各에 附加한 weighting 係數와의 circular convolution을 利用하는 單峰指向特性을 가지는 system의 計算機 simulation에 의한 方法에 對하여 論하기로 한다. Fig. 1은 直線排列 hydrophone에 進入하는 音波의 位相과 weighting 係數와의 關係를 나타낸 것이다.

各 hydrophone에서 出力되는 信號 $X_n(t)$ 와 그 各各에 附加하는 weighting 係數 $W_n(s)$ 와의 circular convolution을 만든다. 이때 積 $X_n(t) \cdot W_n(s)$ 의 個數는 排列 hydrophone의 個數와 같으며 여기에서 이것을 一般化하여 0~N-1까지 N個로 한다. 또 信號 $X_n(t)$ 와 weighting 係數 $W_n(s)$ 는 各各 移相回路를 通하여 位相을 $\pi/2$ 씩 바꾸고 이들을 $X'_n(t), W'_n(s)$ 라 하여 또 circular convolution 한다. 그리고 이들 두 circular convolution의 合을 出力으로 했다.

그런데 $X_n(t)$ 와 $W_n(s)$ 를 convolution 하기 전에

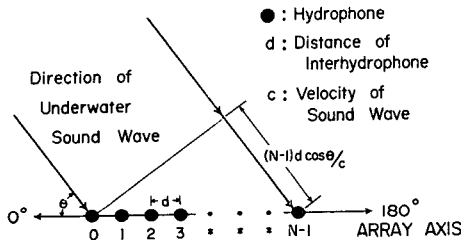


Fig. 1. Arrival time delay of wave front at each array element.

weighting 係數 $W_n(s), W'_n(s)$ 를 0과 振幅이 ± 1 로 서 구성되는 矩形波로 한다. 그러면 排列의 endfire 方向으로 任意 한쪽 方向에서 進入하는 平面音波와 그 weighting 係數와의 circular convolution은 그 값이 커지고 그와 反對方向에서 進入하는 音波가 만드는 circular convolution은 減어 지도록 weighting 을 定할 수 있다. 즉 排列의 指向性을 單峰指向性으로 만드는 셈이 된다. 그리하여 音源의 方向을 알 수가 있고 또 同時에 그 때의 同期加算을 위한 走査周波數 즉 sampling 周波數에 의해서 spectrum을 測定

할 수 있다.

Circular convolution에 의한 解析

Hydrophone의 排列間隔을 d , 音速을 c , 그리고 音波가 거리 d 사이를 通過하는 時間을 $t_0=d/c$ 라고 하면, 排列 hydrophone에 進入하는 平面音波가 排列의 endfire 方向으로 첫째 hydrophone에 들어설 때 그 音波의 세기를 나타내는 값을 $X(t)$ 라 하면 둘째 hydrophone에 到着한 音波의 세기는 位相이 $\omega t_0 \cos\theta$ 만큼 늦어지므로 $X(t-t_0 \cos\theta)$ 가 된다. 여기서 ω 는 音波의 周波數이다. 또 셋째 hydrophone에 到着한 音波는 $X(t-2t_0 \cos\theta)$ 가 되며, 一般으로 N번째에 到着한 音波의 세기는 $X(t-(N-1)t_0 \cos\theta)$ 가 된다. 이것을 一般化하여 表示하면 $X_n(t-nt_0 \cos\theta)$, $n=0, 1, 2, \dots, (N-1)$ 가 된다. 또 이 音波를 位相 $\pi \omega \cos\theta / 2\omega_0$ 만큼 移相시킨 것은 $X'_n(t) = X(t-nt_0 \cos\theta - \pi \cos\theta / 2\omega_0)$ 로 表示된다. 그리고 이들 各 音波가 있는 各 hydrophone에 附加한 weighting 係數를 各各 $W_n(s) = W(nt_0), W'_n(s) = W(nt_0 + \pi/2)$ 로 놓고 두개의 circular convolution을 $y_n(t)$ 와 $y'_n(t)$ 라 하면

$$\sum_{n=0}^{N-1} y_n(t) = \sum_{n=0}^{N-1} X(t-nt_0 \cos\theta) \cdot W_n(nt_0) \dots \dots \dots (1)$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} y'_n(t) = \sum_{n=0}^{N-1} X(t-nt_0 \cos\theta - \pi \cos\theta / 2\omega_0) \cdot W_n(nt_0 + \pi/2) \dots \dots \dots (2)$$

$$Z_n(t) = \sum_{n=0}^{N-1} [y_n(t) + y'_n(t)] \dots \dots \dots (3)$$

여기서 各 hydrophone에 附加한 모든 weighting 係數는 circular convolution 하기 전에 矩形波로 하여 $SGN(W_n), SGN(W'_n)$ 되게 한다. 즉 0 또는 ± 1 이 되도록 하면 $y_n(t)$ 와 $y'_n(t)$ 의 變化는 Fig. 2와 같다. Fig. 2 (a)는 두 weighting 係數 分布 排列에 水中音波가 排列의 endfire 方向으로 進入할 때의 circular convolution의 分布이고 이 convolution은 位相이 같아서 出力信號가 合成되어서 Fig. 2 (b)와 같이 커져서 2배로 된다. Fig. 2 (c)는 이와 反對로 180° 方向 즉 앞과 反對方向으로 音波가 進入할 때의 모양이고 두개의 circular convolution의 位相이 正反對가 되어 出力信號의 合成은 거의 零이 된다. 따라서 直線排列의 0°(endfire 方向) 方向에서 오는 水中音源의 信號는 커지고, 그 이외의 方向에서 오는 音波의 信號는 작아진다. 그러므로 水中音源의 方向을 알 수 있다. 또 指向特性을 나타내는 指向 係數는 排列 hydrophone의 數를 增加시키는 것에 의해서 向上시킬 수도 있다. 이

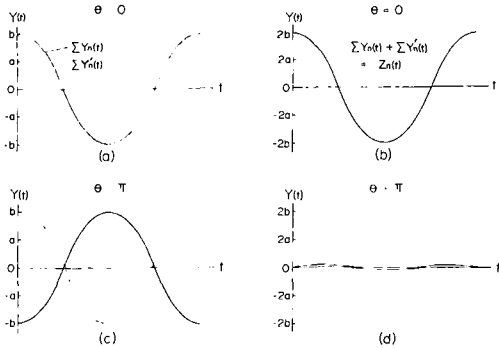


Fig. 2. Distribution of convolution with time.

信號들의 周波數를 알기 위하여 同期加算을 하게 되는데 그 同期加算을 위한 sampling 周波數를 w_0 로 하고 이들을 平均하여 다시 normalize 하면

$$\frac{1}{2NK} \sum_{t=0}^{K-1} Z_n(t) \dots \dots \dots (4)$$

가 된다. 이로써 spectrum을 分析한 셈이 된다.

計算機 Simulation

計算機 simulation을 하기 위한 音源의 配置는 Fig. 3과 같이 排列 hydrophone의 endfire의 0° 方向에 600 Hz, 1KHz, 2KHz, 30° 方向에 1KHz, 4 KHz, 5KHz, 그리고 180° 方向에 1KHz, 1.5KHz, 3KHz를 놓았다. 直線排列 hydrophone은 25個의 hydrophone을 10cm 間隔으로 排列하여 그 全長을 250cm로 하였다. Fig. 3의 音源 S_1, S_2, S_3 의 power는 모두 같은 크기로 하여 計算하였다. 指向性은 0° 方向으로 直線排列 hydrophone을 音源 S_1 을 向하게 하여 測定하는 것으로 하고 測定周波數는 500 Hz에서 5450 Hz까지 50 Hz 間隔으로 하였다. 그리고 各周波

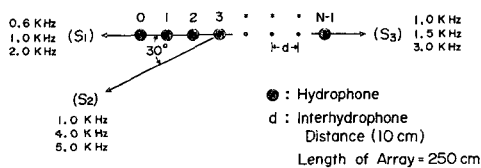


Fig. 3. Arrangement of sound source on computer simulation.

數에 있어서의 同期加算平均은 100회로 하여 計算하였고, simulation 結果는 Fig. 4와 같다. 이 結果를 보면 音源 S_1 만이 쫓고 있는 600Hz, 2KHz 成分은 0dB로 높은 power를 나타내고 있음을 알 수 있으며 다른 音源의 成分은 -20 dB 以下로 抑制되고

있다. 더우기 셋의 音源에 共通으로 들어있는 成分인 1KHz도 0dB로서 세 方向에 그 成分이 포함되어 있다고 해서 더 level이 높은 것도 없다. 그것은 30° 方向이나 180° 方向의 것이 0° 쪽에 加算되지 않고 있음을 意味하며 指向性이 良好함을 나타내고 있다.

考 察

直線排列 hydrophone의 排列의 長이를 600Hz 音波의 한 波長을 쫓는 長이로 하여 受信되는 音波의 power spectrum을 計算機 simulation 한 結果 적어도 22個의 hydrophone을 排列하여야 했으며 그보다

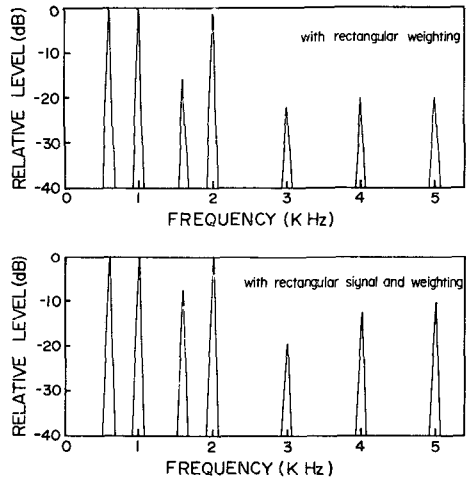


Fig. 4. Result by computer simulation.

個數를 적게 하면 600 Hz 부근의 低周波의 power level이 크게 낮아지는 경향을 나타내었다. 그러나 22個 以上の 直線排列에서는 30° 및 180° 方向의 成分을 적어도 16 dB 以下로 抑制할 수가 있었다. 이것은 矩形波 weighting의 경우이지만 正弦波 weighting의 경우는 19 dB 정도였으므로 이들 사이에서는 3 dB의 差異가 있다. 그러나 이것은 weighting 附加가 簡便한 것을 생각하면 이 分析 system의 實現方法이 越等히 可能性이 크다고 생각된다.

또 入力되는 信號마저 모두 矩形波化하여 simulation 한 結果를 보면 이것은 weighting만을 矩形波化한 것에 比하여 30° 및 180° 方向의 것이 겨우 8 dB밖에 抑制되지 않았다. 그런데 이 方法은 더욱 實現方法을 複雜하게 할 뿐 考察 할만한 意義는 있으나 별로 쓸모가 없는 것으로 생각된다. 따라서 實現方法을 가장 簡便하게 하는 效率的인 方法은 weighting만을 矩形波로 하는 것이 가장 適合한 方法이라고 생각된다.

要 約

길이 250cm, 間隔 10cm의 25個의 受動系 直線排
列 hydrophone을 0, ±1의 矩形波 weighting을 附加
하여 信號와 weighting과의 convolution을 求하고
이것을 同期加算하는 方法으로 얻는 方向檢出과 spe-
ctrum分析은 그 實現方法을 增大시키고 正弦波 wei-
ghting을 附加하는 것보다 3 dB정도 낮으나 指向性을
준 方向보다 他方向의 spectrum 成分의 power level
을 적어도 16 dB 정도 以上 抑制할 수가 있었다. 또
信號까지 0, ±1의 矩形波로 바꾸는 경우는 前述한
成分을 적어도 8 dB 以上 抑制할 수 있었다.

文 獻

1. Robert L. Riegler and Ralph T. Compton, Jr.
1973. An adaptive array for interference re-
jection. *proc. of IEEE* 6(6), 748—758.
2. Georges Bienvenu. 1979. Underwater passive
detection and spatial coherence testing. *J. Ac-
oust. Soc. Am.* 65(2), 425—437.
3. 張志元, 安倍正人, 金千德, 城戸建一. 1980. 直線
配列マイクロホンを用いた指向性スペクトル分析
システム. *日本音響學會講演論文集*, 95~96.
4. Alan V. Oppenheim & Ronald W. Schafate.
1975. *Digital Signal processing*. Bell Teleph-
one Lab. Inc., 105—108.