

피동음향탐지기에서 바람의 영향을 보정하기 위한 한가지 방법

신일철, 김은일

피동음향탐지기에서 목표방위판정의 정확도를 감소시키는 영향인자들로 기상학적 변화와 지형조건, 환경소음, 측지오차 등의 인자들이 있다. 여기서 기상학적변화 특히 바람의 방향과 바람속도에 의한 방위판정오차를 보상하는 문제가 중요한 문제의 하나로 제기된다.[1]

기상지표에는 온도, 기압, 바람 등이 있는데 온도와 기압은 스칼라량으로서 매질의 불균일성을 무시하면 매 수감부에 도착하는 음파의 속도를 동일하게 변화시킨다고 볼수 있다.

그러나 바람은 벡토르량(속도와 방향)으로서 매 수감부에 도착하는 음파의 속도를 서로 다르게 변화시킨다.

선행연구[2]에서는 3차원공간에서 바람영향에 의하여 편기된 공중음원의 도달각을 수정하는 방법에 대하여 제기하였으며 선행연구[3]에서는 상대적으로 멀리 떨어져있는 두 수감부에서의 바람영향으로 인한 편기된 도달각을 수정하는 방법을 제안하였다.

우리는 4개의 작은 수감부배열(수감부들사이의 거리가 음원까지의 거리에 비하여 상대적으로 짧은 배열)을 리용할 때의 바람영향으로 인한 도달각수정방법을 제안한다.

1. 도달각추정에서 바람의 영향을 보정하기 위한 방법

4개의 음향수감부로 된 정4각형수감부배열을 리용하여 음원위치측정을 진행할 때 전체 탐지구역에서 바람의 방향과 속도가 일정하다고 가정하고 바람의 영향에 의한 도달각오차를 논의하자. 이때 바람에 의하여 음원의 도달각이 편기되는 현상을 그림에 보여주었다.

4개의 수감부는 직각자리표계에서 원점을 중심으로 정4각형구조로 배치되어있다. 정4각형의 대각선의 길이를 l 이라고 하면 매 수감부의 자리표는 각각 $M_1(0, l/2)$, $M_2(l/2, 0)$, $M_3(0, -l/2)$, $M_4(-l/2, 0)$ 이다.

수감부배열에서 음원 $S(x, y)$ 의 도달각을 φ 라고 하면 현실조건에서는 바람(풍속 v , 풍방 α)의 영향에 의해 음원에서 발생한 소리파가 수감부배열에서 편이된 도달각 φ' 로 접수된다.

편이되어 추정된 음원의 위치를 $S'(x', y')$ 라고 하고 자리표원점과 수감부 M_i 에서 S , S' 까지의 거리를 각각 r , r' , r_i , r'_i 라고 하자. 그러면 다음의 식이 성립한다.

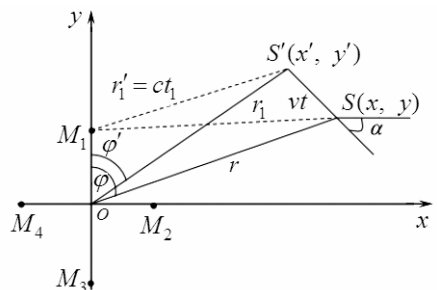


그림. 바람에 의해 편차되는 방위각

$$\begin{aligned} r_1^2 &= x^2 + (y - l/2)^2, & r_2^2 &= (x - l/2)^2 + y^2 \\ r_3^2 &= x^2 + (y + l/2)^2, & r_4^2 &= (x + l/2)^2 + y^2 \end{aligned} \quad (1)$$

한편 $x = x' + SS' \sin \alpha$, $y = y' + SS' \cos \alpha$ 이고 음파가 수감부 M_1 까지 전파되는데 소요되는 시간을 t_1 이라고 설정하면 $r_1 = ct_1$, $SS' = vt_1$ (c 는 소리속도)이므로

$$\begin{aligned} x &= x' + SS' \sin \alpha = r' \sin \varphi' + v/c r_1 \sin \alpha \\ y &= y' + SS' \cos \alpha = r' \cos \varphi' + v/c r_1 \cos \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

가 성립한다. 식 (1)과 (2)로부터

$$r_1^2 = [r' \sin \varphi' + (v/c) r_1 \sin \alpha]^2 + [r' \cos \varphi' + (v/c) r_1 \cos \alpha - l/2]^2 \quad (3)$$

으로 되며 이 식을 간단히 쓰면

$$ar_1^2 - 2b_1 r_1 + c_1 = 0 \quad (4)$$

으로 된다. 여기서

$$a = 1 - (v/c)^2, \quad b_1 = (v/c)[(l/2) \cos \alpha - r' \cos(\varphi' - \alpha)], \quad c_1 = r' l \cos \varphi' - r'^2 - l^2/4 \quad (5)$$

이며 이 방정식을 풀면

$$r_1 = \left(b_1 + \sqrt{b_1^2 - ac_1} \right) / a \quad (6)$$

을 얻는다.

마찬가지로 음파가 수감부 M_3 까지 전파하는데 소요되는 시간을 t_3 이라고 하고 우와 같은 과정을 반복하여 r_3 를 구하면

$$r_3 = \left(b_3 + \sqrt{b_3^2 - ac_3} \right) / a \quad (7)$$

을 얻는다. 여기서

$$b_3 = (v/c)[-(l/2) \cos \alpha - r' \cos(\varphi' - \alpha)], \quad c_3 = -r' l \cos \varphi' - r'^2 - l^2/4 \quad (8)$$

이다.

식 (6)과 (7)사이의 차가 곧 수감부 M_3 과 M_1 간의 소리경로차이다. 즉

$$r_3 - r_1 = \left(b_1 - b_3 + \sqrt{b_3^2 - ac_3} - \sqrt{b_1^2 - ac_1} \right) / a. \quad (9)$$

식 (5)와 (8)을 식 (9)에 대입하고 $v \ll c$ 로부터 $(v/c)^2 \approx 0$ 임을 고려하면

$$r_3 - r_1 \approx (v/c) l \cos \alpha + \sqrt{r^2 + r l \cos \varphi' + l^2/4} - \sqrt{r^2 - r l \cos \varphi' + l^2/4} \quad (10)$$

을 얻는다. 이제

$$A = \sqrt{r^2 + r l \cos \varphi' + l^2/4} - \sqrt{r^2 - r l \cos \varphi' + l^2/4} \quad (11)$$

으로 놓고 이 식을 테일러 전개하고 $r \gg l$ 로부터 $l^2/r^2 \approx 0$ 임을 고려하면 다음과 같은 결과를 얻을수 있다.

$$A \approx l \cos \varphi' \quad (12)$$

한편 근사식 (12)를 식 (9)에 대입하면 다음의 결과가 얻어진다.

$$r_3 - r_1 \approx (v/c) l \cos \alpha + l \cos \varphi' = l \cos \varphi' [1 + (v \cos \alpha) / (c \cos \varphi')] \quad (13)$$

수감부 M_3 과 M_1 간의 소리경로차를 구하는 방법과 비슷하게 포음이 수감부 M_2 , M_4 까지 전파되는데 소요되는 시간을 t_2 , t_4 라고 하고 우와 같은 과정을 진행하여 수감부 M_4 와 M_2 간의 소리경로차를 구하면 다음의 결과를 얻을수 있다.

$$r_4 - r_2 \approx l \sin \varphi' [1 + (v \sin \alpha) / (c \sin \varphi')] \quad (14)$$

따라서 식 (13)과 (14)로부터

$$\tan \varphi = \frac{r_4 - r_2}{r_3 - r_1} = \tan \varphi' \frac{[1 + (v \sin \alpha) / (c \sin \varphi')]}{[1 + (v \cos \alpha) / (c \cos \varphi')]} \quad (15)$$

를 얻는다. 이로부터 바람방향과 바람속도의 영향을 고려하여 실지 음원의 방위각을 추정할수 있다.

2. 모의실험 및 결과분석

우리는 정4각형수감부배렬(이웃한 두 수감부사이거리는 2m)로 10km정도 떨어진 음원의 도달방향을 판정하는 모의실험을 진행하였다. 음속은 340m/s로 설정하였다.

먼저 수감부배렬에서 바람방향과 도달방향에 따라 변화되는 도달방향편차값을 측정하였다. 바람속도는 7m/s로 설정하였다. 이때 도달방향편차가 1.5°로 측정되었다.

다음으로 바람속도와 바람방향의 변화에 따라 수정된 도달방향판정값을 계산하였다. 바람속도는 0m/s부터 10m/s로, 바람방향은 0°부터 360°로 변화시킨다. 바람영향에 의해 편이된 도달방향은 30°이다. 모의결과 바람속도와 바람방향에 따라 수정되는 도달방향은 30°근방에서 진동한다.

맺는 말

4개의 수감부로 이루어진 작은 수감부배렬에서 바람의 영향에 의해 편차된 도달방향 판정값을 수정하는 한가지 방법을 제안하였다. 또한 모의시험과 현장시험을 통하여 제안한 방법의 정확성을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] 李京华 等; Journal of Detection & Control, 21, 3, 20, 1999.
- [2] 程翔 等; 弹箭与制导学报, 144, 2007.
- [3] 高鹏 等; 电声基础, 36, 4, 29, 2012.

주체106(2017)년 4월 5일 원고접수

A Method to Correct Influence of Wind of Source Signal in Acoustic Radar

Sin Il Chol, Kim Un Il

We proposed a method which correct DOA deflected by wind in small four sensor arrays. We also confirmed this method through simulations and experiments.

Key words: array signal process, DOA, weather condition