

마이크배열을 리용한 음속도와 음원위치의 동시추정방법

전창주, 박영희

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《교육설비들은 교육의 질을 높이는 중요한 수단입니다.》(《김정일선집》 증보판 제10권 493페이지)

음파의 전파속도를 정확히 추정하는것은 실천적으로 매우 중요한 문제이다.[2] 음파의 전파속도를 추정하는 문제는 많은 경우 음원으로부터 수감부까지의 거리가 알려진 경우에 고찰되였다.[1-3]

론문에서는 음원으로부터 수감부까지의 거리가 알려지지 않은 경우에 음속도와 음원의 위치를 동시에 추정할수 있는 방법을 제기하였다.

1. 음원의 위치를 모르는 경우의 음속도추정방법

음원의 위치정보가 알려져있지 않은 경우 마이크배열로부터 얻을수 있는 정보는 마이크배열의 매 요소수감부에서 결정되는 신호도달시간들사이의 차이이다.

이 경우에 속도추정문제는 음원의 위치(\mathbf{p})와 음속도(c)의 동시추정문제로 형식화할수 있다. 즉

$$[c, \mathbf{p}] = \arg \min_{c, \mathbf{p}} \int_{-\pi/T_s}^{\pi/T_s} \left\| R(\omega) - s(\omega) \begin{bmatrix} a_1 e^{-i \frac{|r_1(\mathbf{p}) - r_2(\mathbf{p})|}{c} \omega} \\ \vdots \\ a_M e^{-i \frac{|r_1(\mathbf{p}) - r_M(\mathbf{p})|}{c} \omega} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 e^{-i \frac{|r_1(\mathbf{p}) - r_2(\mathbf{p})|}{c} \omega} \\ \vdots \\ a_M e^{-i \frac{|r_1(\mathbf{p}) - r_M(\mathbf{p})|}{c} \omega} \end{bmatrix}^H \right\|_2^2 d\omega \quad (1)$$

여기서 $r_q(\mathbf{p})$ ($q=1, 2, \dots, M$)는 음원이 위치 \mathbf{p} 에 놓여있다고 가정할 때 매 개별적인 마이크들로부터 음원 즉 송파기까지의 거리이며 $|r_1(\mathbf{p}) - r_q(\mathbf{p})|$ 는 경로차이다. T_s 는 표본화주파수, $R(\omega)$ 는 신호공분산행렬, $s(\omega)$ 는 음원에서 발신되는 신호의 스펙트럼, a_q ($q=1, 2, \dots, M$)는 신호감쇠결수이다.

신호의 도달시간은 음원에서 발생하는 신호파형이 알려진 경우와 알려지지 않은 경우로 나누어 고찰할수 있다.

신호가 알려진 경우에는 신호원천에서의 신호와 배열의 매 수감부에서 접수한 신호사이의 상관을 고찰하여 신호도달시각을 결정할수 있다. 신호파형이 알려지지 않은 경우에는 수감부들에서 접수한 신호들사이의 상관으로부터 상대적인 신호도달시점들을 결정할수 있으며 이때에는 유효수감부의 개수가 1개 줄어든다.

상관법으로 결정한 음신호의 도달시각들을 벡토르

$$\mathbf{t} = [t_1, t_2, \dots, t_M]^T$$

로 표시하자.

서로 다른 위치에 놓여있는 임의의 3개 음수감부(A, B, C)들의 위치가 알려져있는 경우 매 수감부에서의 신호도달시간을 결정할수 있다면 음속도가 주어진 경우 이 도달시간들을 리용하여 음원으로부터 수감부들까지의 거리를 추정할수 있다. 즉 다음의련립방정식을 리용하여 음원의 위치를 결정할수 있다.

$$\begin{cases} (A_x - x_0)^2 + (A_y - y_0)^2 = L^2 \\ (B_x - x_0)^2 + (B_y - y_0)^2 = (L + r_1)^2 \\ (C_x - x_0)^2 + (C_y - y_0)^2 = (L + r_2)^2 \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y$ 는 수감부 A, B, C 의 자리표이며 L 은 음원(자리표는 x_0, y_0)으로부터 수감부 A 까지의 거리, r_1 은 음원으로부터 수감부 B 까지의 거리와 L 사이의 차, r_2 는 음원으로부터 수감부 C 까지의 거리와 L 사이의 차이이다. 수감부들의 위치는 모두 알려져있고 거리차 r_1, r_2 는 도달시간차에 가정한 음속도(가능한 값범위안에서 정함.)를 곱하면 얻을수 있다. 따라서 3개 수감부들의 위치와 신호도달시간을 알면 음원의 위치를 결정할수 있다. 이로부터 다음과 같은 음속도 및 음원위치결정알고리즘을 제기한다.

① 마이크배열에서 임의로 3개의 수감부들의 가능한 조합을 구성한다.

② 음속도의 가능한 변화구간에서 음속도값을 연속적으로 변화시키면서 모든 마이크조들에 대하여 식 (2)를 구성하고 풀어 음원의 위치를 추정한다.

③ 서로 다른 마이크조에 대하여 결정된 음원의 위치값들의 분산을 매 음속도값들에 대하여 결정한다.

④ 위치값들의 분산이 최소로 되는 음속도값을 얻고 그에 해당하는 음원의 위치를 실시음원의 위치에 대한 추정값으로 한다.

2. 모의실험결과 및 분석

마이크배열의 기하학적구조를 그림 1에 보여주었다.

모의에는 8개의 마이크로 구성된 배열을 리용하였다.

음원은 일반성을 잃음이 없이 자리표 (1, 1)에 놓여있다고 본다. 마이크수신체계의 표본화주파수는 1MHz, 신호는 VCO(전압조절발진)형으로서 10~100kHz에서 변하도록 하고 신호의 길이는 1ms로 설정하였다.

이때 신호대잡음비에 따르는 음속도와 위치추정에서의 평균2제곱오차값들을 200번의 반복실행결과에 대하여 평가하였다.(그림 2와 3)

위치추정오차는 추정된 음원의 자리표로부터 실시음원의 자리표사이의 거리로 평가하였다.

모의실험결과를 제안된 방법을 리용할 때 신호대잡

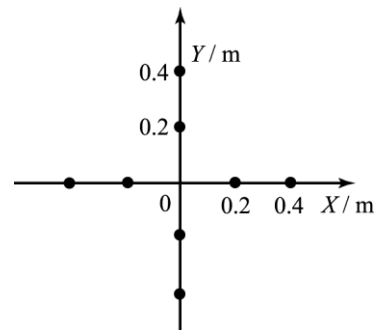


그림 1. 마이크배열의 기하학적구조

음비가 -4dB 이상이면 음속도를 거의 편차없이 추정할수 있으며 위치는 0.01m 의 평균2제곱오차한계내에서 결정할수 있다는것을 보여준다.

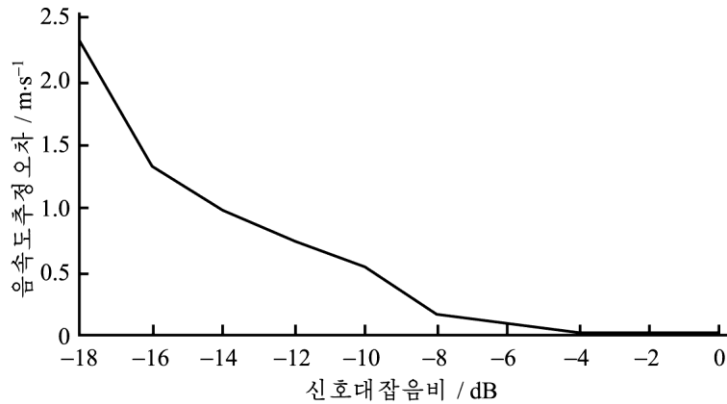


그림 2. 신호대잡음비에 따르는 음속도추정 오차(평균2제곱오차)

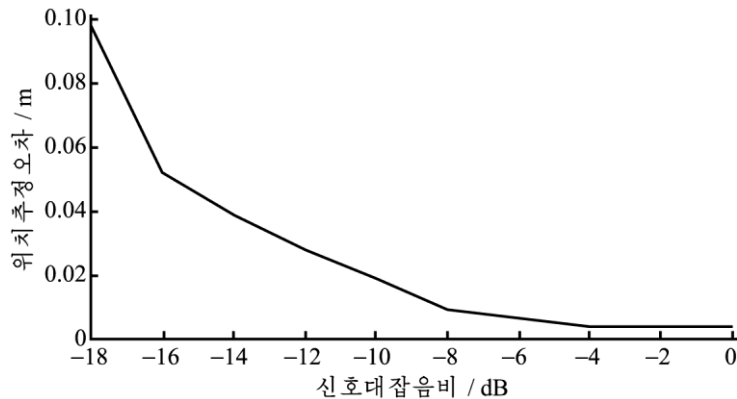


그림 3. 신호대잡음비에 따르는 음원의 위치추정오차

맺는 말

마이크배열을 리용하여 음파의 전파속도와 음원의 위치를 동시에 추정할수 있는 한 가지 방법을 제기하였으며 모의실험을 통하여 방법의 성능을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 최성철 등; 정보기술, 134, 3, 14, 주체104(2015).
- [2] A. J. Zuckerwar; Handbook of the Speed of Sound in Real Gases, Academic Press, 272~282, 2002.
- [3] 王红晨 等; Journal of Huazhong Agricultural University, 28, 4, 504, 2009.

주체110(2021)년 3월 5일 원고접수

A Simultaneous Estimation Method of Sound Speed and Sound Source Position Using Microphone Array

Jon Chang Ju, Pak Yong Hui

In this paper, we proposed a simultaneous estimation method of sound speed and source position using a microphone array when the sound source position is unknown, and evaluated the performance of the proposed method.

Keywords: sound speed estimation, microphone array, signal processing