

코릴레이션 및 위상자를 이용한 단일 주파수 신호의 시간 지연 추정 알고리즘

문시현¹¹한국공학대학교 메카트로닉스공학부 학부생

wildcard@tukorea.ac.kr

Single Frequency Signal Time Delay Estimation using Correlation and Phasor

Sihyun-Mun¹¹Dept. of Mechatronics Engineering, TUKorea

요 약

본 연구에서는 노이즈가 있는 신호에서 코릴레이션과 위상자를 이용해 특정 주파수 성분의 세기와 위상을 검출하고 시간 지연이 있는 두 개의 신호에서 위상차를 통해 시간 지연을 추정하는 알고리즘을 제시하였으며 마이크로폰 어레이와 증폭 회로를 구성하여 단일 주파수 음원의 시간 지연 추정을 구현하였다. 이는 단일 주파수 신호의 시간 지연을 검출하는데 있어 기존의 방식들에 비해 단순하며 보다 자원이 한정적인 임베디드 시스템에서 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

1. 서론

마이크로폰 어레이는 시간지연 추정 알고리즘을 통해 특정 음향신호의 각도를 추정할 수 있으며 기존의 방식으로 GCC-PHAT^[1], LASSO^[2] 등의 알고리즘이 존재한다. 본 연구에서는 보다 단순한 방법으로 노이즈가 존재하는 신호에서 단순 코릴레이션과 위상자를 이용해 특정 주파수 성분의 세기와 위상을 검출하였으며 각 신호에서 검출된 위상의 차를 구하여 시간지연을 추정하는 알고리즘을 제시하였다. 또한 마이크로폰 어레이와 증폭회로를 구성하여 제시한 알고리즘을 MCU 에 적용하고 단음 음원의 두 마이크로폰 센서에 대한 시간 지연을 추정하는 것을 확인하였다.

2. 알고리즘 구성

본 논문에서 제시하는 알고리즘은 코릴레이션한 결과를 위상자에 대입하고, 구해진 위상차를 토대로 시간 지연을 계산하는 과정으로 이루어져 있다. 단일 주파수를 검출하는 코릴레이션은 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$CORR_{sin} = \sum_{a=1}^n x[a] \sin\left(\frac{2\pi T_s a}{f}\right) \quad (1)$$

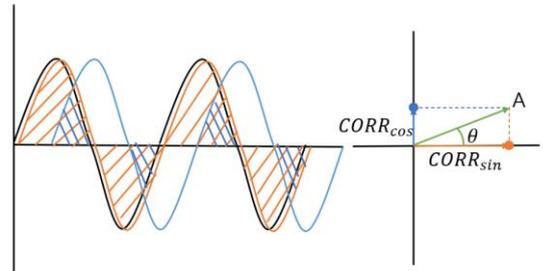


그림 2. 코릴레이션과 위상자

식(1)에서 T_s 는 샘플링주기, f 는 검출하고자 하는 신호의 주파수이다. 그러나 식(1)의 방식에서는 코릴레이션 하고자 하는 신호와 정현파의 위상차에 따라 출력 값이 바뀌기 때문에 사인파, 코사인파와 코릴레이션한 결과를 위상자에 적용하면 신호 위상에 상관 없이 일정한 신호 강도를 얻을 수 있다.

$$A \angle \theta = CORR_{sin} + jCORR_{cos} \quad (2)$$

식(2)와 그림 2 에서 A 는 신호강도, θ 는 위상이다. 또한 이를 이용하여 두개의 마이크로폰 센서에서 수신되는 특정 주파수 신호의 위상차를 구할 수 있다.

$$\varphi = \theta_{right} - \theta_{left} \quad (3)$$

3. 마이크로폰 어레이 제작

알고리즘을 검증할 마이크로폰 어레이는 두개의 마이크로폰, LM324N OpAmp 를 통한 증폭회로와 샘플링 및 시간지연 추정 알고리즘 연산을 위한 Teensy 4.0 MCU로 구성하여 제작하였다. 그림 1 은 제작된 마이크로폰 어레이와 증폭회로의 모습이다.

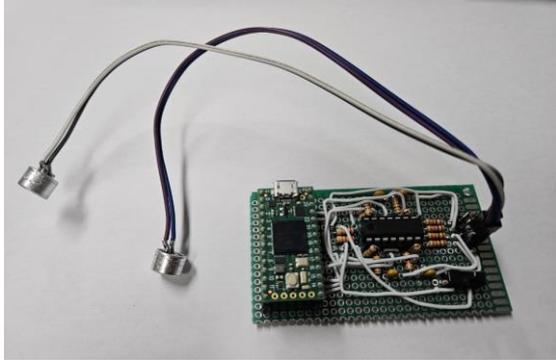


그림 1. 제작된 마이크로폰 어레이 회로

4. 시간지연 추정 테스트

그림 1 의 회로를 통한 시간지연 추정 테스트는 마이크로폰을 일정 간격으로 배치하고, 1000Hz 소리를 재생하여 마이크로폰 어레이와 음원의 각도에 따라 위상차가 검출되는지를 확인하였다. 이때 마이크로폰의 간격이 클수록 시간 지연이 커져 정확한 각도 측정이 가능해지며 최대 간격은 $\lambda/2$ 이므로 1000Hz 의 파장인 34cm 의 절반인 17cm 이다. 소리를 재생하고 마이크로폰과의 각도를 변화시킨 결과 위상차를 검출할 수 있었다. 그림 2 는 약 120 도의 위상차를 검출한 모습이다. 다음은 위상차를 통한 시간 지연 계산식이다.

$$\tau = \frac{T\theta}{2\pi} \quad (4)$$

위에서 τ 는 시간지연, T 는 주파수의 주기이며 θ 는 위상차이다. 시간지연은 위 식을 따라 약 0.003 초로 계산되어 진다.

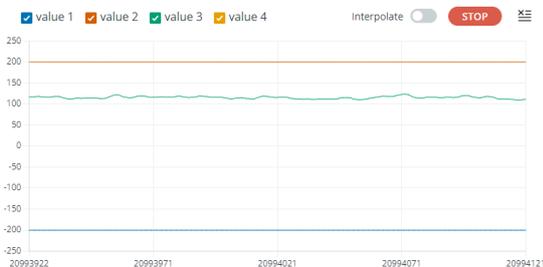


그림 2. 검출된 위상차의 모습

5. 결론

본 연구에서는 두 센서의 신호간 시간 지연을 추정할 수 있는 기존의 방식들 보다 간단한 알고리즘을 제시하였으며 마이크로폰 어레이를 제작하여 위상차를 검출하고 단일 주파수 신호의 두 마이크로폰 센서간 시간지연을 계산하였다. 이는 단일 주파수 신호에 대해서 기존의 Cross-Correlation 이나 회귀 분석등에 기반한 알고리즘보다 단순하며 제한적인 자원의 임베디드 시스템에서 특정 주파수만의 위상차나 시간지연을 추정할 때 유용할 것으로 보여 진다.

참고문헌

- [1] BPD 를 사용한 GCC-PHAT 기반 시간 지연 추정 알고리즘, 한국통신학회논문지, 제 42 권, 9 호, 1857-1862 쪽, 2017 년
- [2] 임준석 외 2 명, LASSO 를 사용한 시간 지연 추정 알고리즘, 한국통신학회논문지, 제 39 권, 10 호, 715-721 쪽, 2014 년