

# 음향센서를 이용한 파이로 점화기의 작동 위치와 시각추정 Localization and Operation Time Estimation for the Pyrotechnic Igniter Using Acoustic Sensor

하재현\* · 박 웅\* · 김상민\*

Jae-hyoun Ha, Woong Park and Sang-min Kim

## 1. 서 론

유도무기의 발사장치 제어 및 추진기관의 안정적인 점화 등을 위해 전기적인 신호로 화약의 점화를 제어하는 일렉트로 파이로 테크닉 기폭기(Electro pyrotechnic initiator)를 사용한다. 일렉트로 파이로 테크닉 기폭기는 전기 에너지로 화약을 제어하고, 화약의 폭발에너지를 추진기관의 점화나 볼트 분리, 또는 피스톤의 역할 등을 수행하므로 기폭기의 동작시 화약의 폭발로 인한 소음 발생하며, 경우에 따라 섬광이 발생하기도 한다.

유도무기 제어에 사용되는 일렉트로 파이로 테크닉 기폭기의 성능을 확인하기 위한 방법으로 유도무기 지상 실험에서 고속영상과 각종 물리량 측정을 통하여 그 성능을 입증한다. 본 논문에서는 일렉트로 파이로 테크닉 기폭기의 일종인 미는 힘을 이용하여 유도무기를 제어하는 파이로 푸셔의 성능을 음향센서를 이용하여 확인하는 방법을 소개 하였다. 파이로 푸셔는 섬광이 발생하지 않고 작은 변위로 운동하기 때문에 고속영상으로 정확한 동작 시점과 위치를 검출하기 어렵다. 따라서 파이로 푸셔의 동작시 발생하는 충격 소음을 다수의 음향센서로 수신하면 소음원의 위치와 동작시점을 추정 할 수 있다. 본 논문에서는 음향센서를 이용한 위치 및 시각 알고리즘과 시뮬레이션을 통한 검증 방법을 소개하고 실제 시험에 적용한 사례를 소개하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 위치추정 알고리즘과 시뮬레이션

음향센서 또는 수신안테나와 같은 수동센서를 이용하여 신호원의 위치를 추정하는 방식은 각각의 센서에 신호의 수신시각을 이용한 ToA(Time of Arrival)과 센서간의 수신 시각차를 이용한 TDoA(Time Difference of Arrival)가 있다<sup>(1)(2)</sup>. 또한 신호의 SNR을 향상시키고 여러개의 신호원을 식별하는 방법으로 배열 센서를 이용한 신호의 도래각 DoA(Direction of Arrival) 추정 방식이 있다<sup>(3)</sup>. 본 논문에서는 제한된 공간에서 적은 수의 음향 센서로 두 개의 파이로 푸셔에서 발생한 충격소음을 측정하여 그 위치와 점화시간 차를 검출하는 알고리즘으로 ToA 방식을 이용하였다.

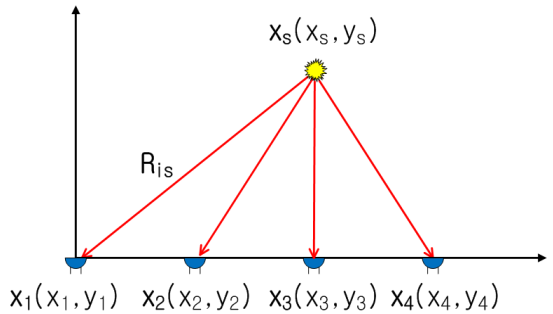


그림 1 2차원 직교좌표에서 센서와 음원의 위치

그림 1에서 센서 i 의 위치좌표를  $x_i = [x_i, y_i]$ , 센서 i 에서의 수신시각을  $t_i$  라하고 소음원의 좌표를  $x_s = [x_s, y_s]$ , 소음발생 시점을  $t_s$  라고 하면 소음원과 센서 i 의 거리는  $R_{i,s} = \|x_i - x_s\|$  이며 이는 속도와 도달시간의 관계식인  $R_{i,s} = c(t_i - t_s)$  으로 표현할 수 있다. 하지만 음향센서에서 수신한 시각정보에는  $t_s$ 가 포함되어 있지 않다. 따라서 미지수는 음

† 교신저자; 정회원, 국방과학연구소  
E-mail : hahyoun@yahoo.com  
Tel : (041) 671-2540, Fax : (041) 673-1122  
\* 국방과학연구소

원 좌표  $\mathbf{x}_s$ 와 소음발생시간  $t_s$ 이다.

2차원 직교좌표에서의 거리와 측정시간과 속도의 관계식으로 계산한 거리의 차이는 데이터 수집에 발생한 오차와 같으므로 속도와 시간의 관계식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\mathbf{e} = \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_s\| - c(t_i - t_s) \quad (1)$$

식 (1)은 제곱근을 포함하는 비선형 연립 방정식 이므로 임의의 초기값  $\mathbf{x}_0, t_0$ 를 설정하고 테일러 급수 전개로 선형화하여 다음과 같은 선형 연립방정식의 형태로 만들 수 있다.

$$\delta \rho_i = \mathbf{H} \delta \mathbf{x} + e \quad (2)$$

식 (2)는 최소자승법으로 식 (3)과 같이 최적화할 수 있다.

$$\delta \mathbf{x} = (\mathbf{H}^T \mathbf{W} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{W} \delta \rho_i \quad (3)$$

식 (3)의 결과로 새로운 초기 값을 설정하고 테일러 급수 전개하여 위의 과정을 반복하여 해를 얻는다.

ToA 알고리즘의 성능을 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 통계적으로 검증하였다. 실제 실험과 유사한 위치에 센서와 소음원을 설정하고 수신시간에 분산 20 us의 가우시안 확률변수를 이용하였다.

**Table 1** MCS를 이용한 음원의 위치(x,y)와 신호발생시간 t의 편이, 표준편차

|   | 입력  | 편이(Bias)  | 표준편차      |
|---|-----|-----------|-----------|
| x | 0.3 | 0.0003    | 0.011     |
| y | 0.4 | 0.0041    | 0.062     |
| t | 0   | 5.4169 us | 85.703 us |

### 2.3 동작성능 시험 적용

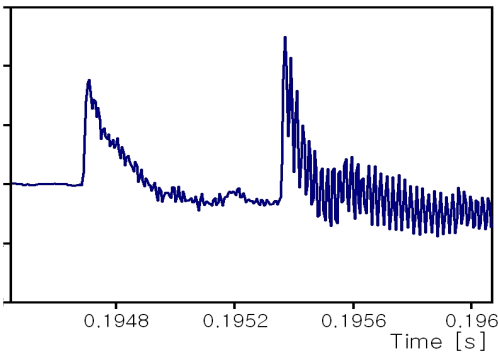


그림 2 센서에서 수신한 폭발음

20 cm 간격으로 네 개의 음향센서를 배열하여 각 센서에서 그림 2와 같은 음압 신호를 획득하였으며 ToA 알고리즘으로 그림 3과 같이 파이로 푸셔가 작동위치 경계 내에 위치가 추정되었음을 확인할 수 있었다.

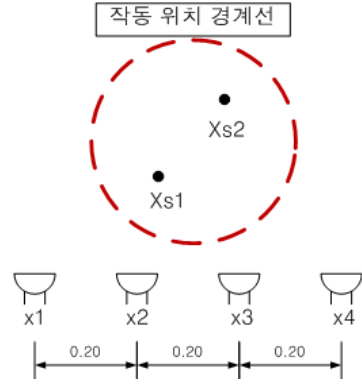


그림 3 파이로 푸셔 작동위치

### 3. 결론

유도무기의 제어에 사용되는 두 개의 파이로 푸셔 동작 성능을 효과적이고 간편하게 확인하기 위하여 음향센서를 이용하였다. 폭발음의 Rising Time이 15 us 이내로 매우 짧았으며, 수신시간 측정 오차가 작아 파이로 푸셔의 동작 예상지점과 유사한 위치로 추정 되었다. 따라서 두 파이로 푸셔의 동작 지연시간 추정에 오차가 적음을 유추 할 수 있었다.

### 참고 문헌

- (1) E. D. Kaplan, "Understanding GPS Principles and Applications"
- (2) Kwon, B.H.; Park, Y.J.; Park, Y.S., "Sound Source Localization Method Using Spatially Mapped GCC Functions", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, v.19, no.4, pp.355-36, 2009
- (3) LAL C. GODARA, "Application of antenna array to mobile comm II : Beam-forming and Direction-of-Arrival Considerations", Proceedings of the IEEE, VOL. 85, pp 1195~1245, Aug.1997