

음향 빔형성 기법을 이용한 로켓소음 도래각 추정 연구

A Study for Direction of Arrival Estimation of Rocket Noise Using Acoustic Beamforming

하재현†·김봉수*·박 웅*·김상민*

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

기법, MUSIC 기법으로 각각 추정하고 그 성능을 비교 분석하였다.[1]

1. 서 론

로켓의 성능을 평가하기 위한 비행시험시 로켓의 탄도를 실시간 측정하기 위하여 레이더 및 원격측정을 이용한다. 그러나 레이더 및 원격측정은 로켓과 탐지체계 사이의 가시선이 확보되어야 하며, 로켓의 발사 초기 및 종말 단계에서는 이러한 가시선의 확보가 어려운 경우가 많다. 이를 보완하기 위한 방법으로 음향 센서를 이용한 탄도추적에 관한 연구가 진행되고 있다. 음향센서를 이용한 로켓의 탄도 추적은 여러개의 음향센서 어레이를 통하여 각각의 어레이에서 도래각을 추정하고, 그 도래각들을 이용하여 로켓 탄도를 추정 할 수 있다.

하나의 센서 어레이에서 로켓소음의 도래각을 추정하기 위한 방법으로 음향 빔형성 기법이 있다. 이때 어레이의 성능은 부엽(sidelobe)과 빔폭 (beamwidth)의 크기를 통해 평가 할 수 있다. 빔폭이 적을수록 다수의 음원 위치를 구분해 내는 능력이 높음을 의미하고, 부엽이 적을수록 실제 존재하지 않는 음원이 존재하는 것처럼 나타나는 공간 엘리머싱 현상이 적음을 의미한다.

로켓소음의 도래각을 추정하기 위한 음향 빔형성 방법으로 전통적인 빔형성 기법(conventional beam former)과 최적 빔형성 기법 (optimal beam former), MUSIC(multiple signal classification) 기법을 이용한 방법 등이 있다. 본 연구에서는 등간격 선형 어레이를 이용하여 로켓 소음의 도래각을 전통적인 빔형성 기법과 최적 빔형성

2. 본 론

2.1 입사 신호 모델링

로켓 소음원과 충분히 먼 거리에 어레이가 위치할 경우 음향 센서에 입사되는 신호를 평면파로 가정 할 수 있다. 또한 로켓 소음원과 어레이의 거리가 멀어질수록 대기 중 음파의 흡수손실에 의해 높은 주파수의 성분이 더 많이 감쇄되어, 실제 측정 신호의 스펙트럼은 그림 1과 같이 저주파에서 가장 큰 파워를 가짐을 확인 할 수 있다.

본 연구에서는 소음의 도래각 파라미터를 추정하기 위하여 센서 간격의 반파장에 해당하는 주파수 성분을 Notch filter를 이용하여 추출한 후 협대역 (narrow band) 신호에 대한 빔형성 기법을 적용하였다. 협대역 신호를 사용할 경우 높은 성능의 다양한 빔형성 기법을 적용 할 수 있으며, 그림 1에서 하나의 센서에서 측정된 신호와 필터를 통해 추출한 협대역 신호의 주파수를 도시하였다.

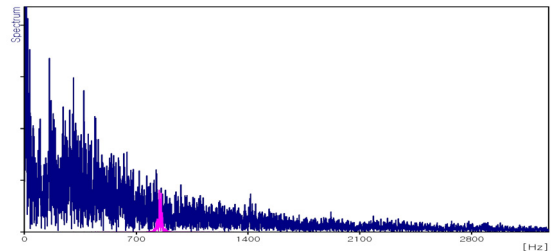


그림 1 측정신호의 주파수 스펙트럼

등 간격 어레이의 협대역 빔 형성기 구조는 그림 2와 같이 나타낼 수 있으며, 이 때 θ 각도로 입사되는 M 개의 신호원이 각각의 센서에 입사되는 신호를 표현하면 아래와 같다

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

* 국방과학연구소

$$x_n = \sum_{i=1}^M m_i(t) e^{j2\pi f_0(t + \tau_n(\theta_i))} + n_n(t) \quad (1)$$

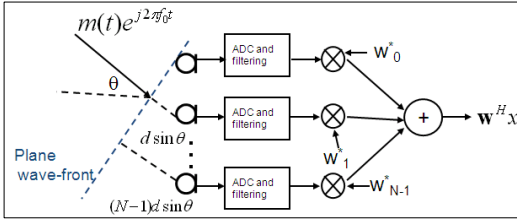


그림 2 협대역 빔형성기 구조
식 (1)에서 각각의 센서에 입사 신호의 도래각에 의한 입력신호의 위상차를 나타내는 벡터를 조향 벡터로 정의하고 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\underline{a}(\theta_i) = [\exp(j2\pi f_0 \tau_1(\theta_i)), \dots, \exp(j2\pi f_0 \tau_n(\theta_i))]^T \quad (2)$$

어레이의 출력과 파워를 표현하면 다음과 같다.

$$y(t) = \underline{w}^H \underline{x}(t) \quad (3)$$

$$P(\underline{w}) = E[y(t) y^*(t)] = \underline{w}^H R \underline{w} \quad (4)$$

2.2 빔형성 기법

전통적인 빔형성 기법은 어레이에서 원하는 방향에서 입사되는 신호에 대하여 큰 가중치를 주어 신호대 잡음비를 향상시키고 출력값을 최대로 하며 그 출력 파워는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{con}(\theta) = \frac{\underline{a}^H(\theta) R \underline{a}(\theta)}{\underline{a}^H(\theta) \underline{a}(\theta)} \quad (5)$$

최적 빔형성 기법은 입사각에 대한 신호의 가중치를 크게 유지하면서 나머지 방향에서 입사되는 신호의 출력 파워를 최소화하는 최적화 문제를 통하여 구해진다.

$$\min_w \underline{w}^H R \underline{w} \quad \text{subject to } \underline{w}^H \underline{a}(\theta_0) = 1 \quad (6)$$

식 (6)의 최적화 문제는 라그랑지 방법을 통해 구해지며 이때 어레이의 출력 파워는 다음과 같다.

$$P(\theta_0) = \frac{1}{\underline{a}^H(\theta_0) \hat{R}^{-1} \underline{a}(\theta_0)} \quad (7)$$

MUSIC 기법은 공분산 행렬의 고유값을 분석하여 신호 부공간과 잡음 부공간으로 분리하여 이를 활용함으로써 향상된 성능을 얻을 수 있다.

$$R = A S A^H + \sigma_n^2 I = U_s \Lambda_s U_s^H + U_n \Lambda_n U_n^H \quad (8)$$

입사 신호의 입사각에 해당하는 모든 조향벡터가

잡음 고유벡터에 의해 형성되는 잡음 부공간에 직교하는 성질을 이용하여 출력을 구하면 다음과 같다.

$$P_{MUSIC} = \frac{\underline{a}^H(\theta) \underline{a}(\theta)}{\underline{a}^H(\theta) U_n U_n^H \underline{a}(\theta)} \quad (9)$$

2.3 실제 음원의 도래각 측정

각각의 빔형성 기법을 이용하여 로켓 비행시험에서 특정시각에서의 도래각을 추정한 결과 MUSIC 기법이 가장 좋은 성능을 보였다.

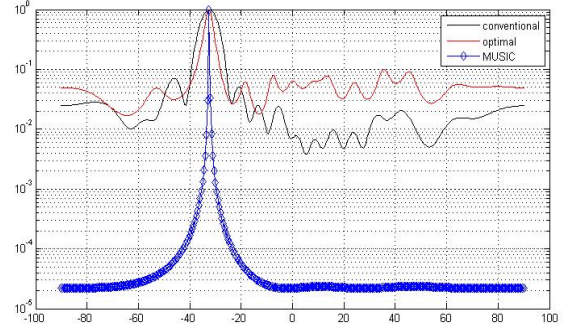


그림 3 로켓 소음 도래각 추정

3. 결 론

본 연구에서는 등간격 선형 어레이를 이용한 전통적인 빔형성 기법과 최적 빔형성 기법, MUSIC 기법으로 로켓 소음의 도래각을 추정하였다. 광대역 주파수의 로켓 소음에서 센서 간격을 고려하여 특정 주파수의 신호 성분을 Notch filter로 추출하여 도래각을 추정한 결과 MUSIC 기법의 경우 높은 분해능으로 추정 할 수 있음을 확인 하였다. 또한 MUSIC 기법의 경우 전통적인 빔형성 기법과 최적 빔형성 기법에 비해 높은 부엽 저감 성능을 나타냄을 확인하였다. 로켓 탄도 추정을 위해 향후 빔형성 기법으로 추정한 도래각을 이용하여 이동 음원의 위치추정 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- (1) 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