

선형 위상 특성을 갖는 적응 마이크로폰 어레이

An Adaptive Microphone Array with Linear Phase Response

강 홍 구*, 윤 대 희*, 차 일 환*

(H. G. Kang*, D. H. Youn* I. W. Cha*)

※본 연구는 91-연세대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

요 약

원거리 회의나 대강당 등의 회의에서 주변의 간섭 잡음을 제거하고 정해진 발언자의 음성 신호를 얻기 위하여 적응 빔 형성 기법을 이용한 방법이 연구되어 왔다. 음성 신호에 이용되는 적응 빔 기법은 레이더, 소나, 지진파 신호의 경우와는 달리 어느 정도 왜곡이 있더라도 출력 신호가 인간의 청각 특성에 적합해야 한다. Sondhi는 인간의 귀가 음성 신호의 위상에는 민감하지 않다는 성질을 이용하여 음성의 크기에 약한 제한 조건을 갖는 cost 함수를 정의하고, 이를 gradient 탐색 알고리즘을 사용하여 최적화된 필터계수를 구했다. 본 논문에서는 Sondhi가 제안한 빔 형성기의 위상 왜곡에 따른 음질 저하를 극복하기 위해 원하는 신호 방향에 대해서 선형 위상 응답 특성을 갖는 빔 형성기를 제안하였으며, 실제로 시스템을 구현할 경우 효과적으로 이용할 수 있는 샘플 처리 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

ABSTRACT

Many adaptive beamforming methods have been studied for interference cancellation and speech signal enhancement in telephone conference and auditorium. Main aspect of adaptive beamforming methods for speech signal processing is different from radar, sonar and seismic signal processing because desired output signal should be apt to the human ear. Considering that phase of speech is quite insensible to the human ear, Sondhi proposed a nonlinear constrained optimization technique whose constraint was on the magnitude transfer function from the source to the output.

In real environment the phase response of the speech signal affects the human auditorium system. So it is desirable to design linear phase system. In this paper, linear phase beamformer is proposed and sample processing algorithm is also proposed for real time consideration.

Simulation results show that the proposed algorithm yields more consistent beam patterns and deep nulls to the noise direction than Sondhi's.

1. 서 론

*연세대학교 전자공학과
접수일자: 1992. 4. 20.

을 사용하여 음성 신호를 수신하는 경우에는 주위의 다양한 잡음원에 따른 간섭을 받게 된다. 이 경우에 잡음원을 제거하고 원하는 신호를 얻기 위한 여러가지 방법이 연구되어 왔다.^{[1][2][3]}

적음 빔 형성기는 원하는 신호와 잡음원에 대한 선행 지식(prior knowledge)이 없어도 잡음을 제거하는 동시에 원하는 신호를 개선시키므로 레이더(radar) 신호처리, 소나(sonar) 신호처리 및 지진파(seismic) 신호처리 분야에서 널리 이용되고 있다.^[8]

Frost^[2]는 원하는 신호의 입사 방향에 대해서는 미리 정해진 필터의 특성을 만족시키며, 다른 방향에서 입사되는 잡음 신호는 제거하는 빔 형성기를 구성하였다. 이것은 음성 신호와 같이 넓은 주파수 영역에서 일정치 않은 스펙트럼 분포를 보이는 신호에 대해서는 잡음 제거 정도가 현저하지 못하다^[5]. 인간의 귀는 어느 정도의 왜곡에는 잘 적응한다는 성질^[11]을 이용하여 Kaneda^[3]는 Frost^[2] 알고리즘의 제한조건을 완화시켜서 양질의 신호를 얻는데 적절한 AMNOR (Adaptive Microphone array for NOise Reduction)조건을 제안하였다. 이것은 필터의 응답 왜곡(response degradation)과 잡음 출력 분산 사이의 증감관계(trade off)를 이용하는 것으로서 실제 실험에서도 우수한 결과를 얻었다. 그러나, 이 경우에는 시스템의 구성에 필요한 다채널 적응 필터의 계수를 계산하기 위하여 가상의 원하는(FD:Fictitious Desired signal) 신호가 필요하며, 신호원의 위치가 변한다면 이를 모델링하는 FD 신호를 계속해서 사용해야만 하는 단점이 있다. Sondhi^[11]는 음성의 품질이 위상의 왜곡에는 덜 민감하다는 특성을 이용하여 원하는 방향으로부터의 신호에 대한 전력 전달함수에 약한 제한조건을 갖는 조건(criterion)을 제시하였고, 이를 gradient 탐색 알고리즘을 사용하여 다채널 적응 필터의 계수를 계산하였다.

본 논문에서는 Sondhi^[11]의 빔 형성기 구조를 살펴본 후, 위상 왜곡을 극복하기 위해, 원하는 방향으로부터 입사되는 신호에 대해서 선형 위상 특성을 갖도록 변형시켜 Sondhi의 결과와 비교하였으며, 효과적인 시스템 구현을 위해 Sondhi가 제안한 블럭 단위로 필터계수를 적용시키는 방법을 변환하여 샘플 단위로 최적화시키는 알고리즘을 제안하였다.

II. Sondhi의 빔 형성기

Sondhi^[11]는 음성의 품질이 위상 정보의 왜곡에는 덜 민감하다는 점에 착안하여 원하는 신호 방향으로

부터의 신호에 대한 빔 형성기의 전력전달함수의 왜곡값이 미리 정해진 일정한 상수값보다는 작아야 된다는 약한 제한을 만족시키며 동시에 출력분산을 최소화시켜서 간섭 신호를 제거하는 방법을 제안하였다.

$G(j\omega)$ 가 원하는 신호방향에 대한 전달함수를 나타내는 경우 Sondhi가 제안한 왜곡식은 다음과 같다.

$$D = \int_{-\infty}^{\infty} (|G(j\omega)|^2 - 1)^2 d\omega \tag{1}$$

이때, $|G(j\omega)|^2$ 은 전력전달함수이고, $|G(j\omega)|^2 - 1$ 은 원하는 방향의 신호에 대한 왜곡 신호의 분산을 결정한다. 이 식은 미분가능한 형태이므로 gradient 탐색 알고리즘을 사용할 수 있다. 전체적인 빔 형성기의 블럭선도는 그림1과 같다.

Sondhi는 다음과 같은 제한 조건하에서 정규화된 출력 파워가 최소가 되도록 하는 알고리즘을 사용하였다.

$$D \leq D_0 \tag{2}$$

이때 D_0 는 미리 정해지는 양수값으로서 인간의 귀가 약간의 왜곡에는 덜 민감하다는 성질을 이용한 것이다.

식(2)의 제한조건을 만족하며 (1)의 왜곡 D 를 최소화하는 문제를 풀기는 어렵다. 그래서 Sondhi는 제한조건 없이 최소값을 찾기 위해 다음과 같은 cost 함수를 정의하였다.

$$C = P + \lambda D \tag{3}$$

이때, P 는 정규화된 출력 파워이고, λ 는 Lagrange multiplier이다. (3)에서 알 수 있듯이 최적의 필

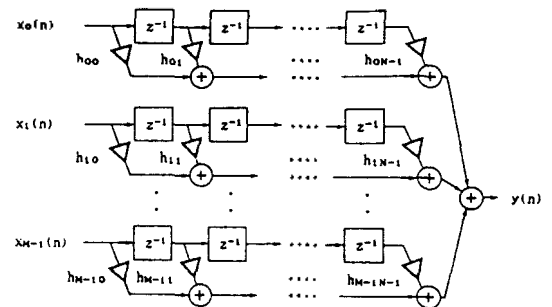


그림 1. Sondhi의 빔 형성기
Fig. 1. Sondhi's beamformer

선형 위상 특성을 갖는 적응 마이크로폰 어레이

터 계수를 얻기 위한 D의 값은 변수 λ에 대한 함수이다. 이때 λ와 D의 함수관계를 직접 해석하기는 어려우므로 시뮬레이션을 통해 λ값을 찾아야 한다. λ가 증가함에 따라 D는 단조감소하므로^{[1][3]} 이 값을 비교적 쉽게 찾을 수 있다.

그림1에서 $x_m(n-i)$ 이 m번째 마이크로폰에 대한 i번째 필터에서의 샘플신호라고 하면 n인 순간에서 빔 형성기의 출력신호 $y(n)$ 은 아래와 같다.

$$y(n) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} x_m(n-i) h_m \quad (4)$$

또한 (4)의 입력력 관계식은 다음과 같이 행렬식으로 표현할 수 있다.

$$y(n) = H^T X_n$$

$$X_n = [x_0(n) \ x_1(n) \ \dots \ x_0(n-1) \ x_1(n-1) \ \dots \ x_{M-1}(n-N+1)]^T$$

$$H = [h_{00} \ h_{01} \ \dots \ h_{0M-1} \ h_{10} \ \dots \ h_{M-1, N-1}]^T \quad (5)$$

이때 T는 transpose를 의미한다.

원하는 신호가 마이크로폰에 직각으로 입사한다고 가정하면 원하는 방향으로부터 입사되는 신호원과 출력 사이의 등가적인 필터의 계수는 아래와 같다.

$$g_i = \sum_{m=0}^{M-1} h_{mi} \quad i=0, 1, \dots, N-1 \quad (6)$$

등가적인 필터계수 g_i , $i=0, 1, \dots, N-1$ 을 DFT (Discrete Fourier Transform)하면 다음과 같이 된다^[1].

$$G_k = \sum_{i=0}^{N-1} g_i w^{ki} \quad k=0, 1, \dots, N-1 \quad (7)$$

이때 $w = \exp(-j2\pi/N)$ 이고, N 은 주파수 분해능에 따라 정해지는 것으로서 필터의 수 N 보다는 큰 값이다.

B개의 샘플로 이루어진 블록에 대해 정규화된 파워, P는 다음과 같이 정의한다.

$$P = \frac{\sum_{n=0}^B y^2(n)}{\sum_{n=0}^B X_n^T X_n}$$

$$= H^T \dots \frac{\sum_{n=0}^B X_n X_n^T}{\sum_{n=0}^B X_n^T X_n} \dots H \quad (8)$$

(8)의 파워식을 계수벡터 H에 대하여 gradient 하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\nabla_H(P) = 2 \frac{\sum_{n=0}^B X_n X_n^T}{\sum_{n=0}^B X_n^T X_n} H \quad (9)$$

(1)의 왜곡값은, 이산 시스템인 경우, 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$D = \sum_{k=0}^{N_F-1} (G_k G_k^* - 1)^2 \quad (10)$$

이때 *는 공액복소수(complex conjugate)를 의미한다. 이 식을 필터의 계수 h_{mi} 에 대해 gradient하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\nabla_{h_{mi}}(D) = 2 \sum_{k=0}^{N_F-1} (G_k G_k^* - 1) (G_k w^{-ki} + G_k^* w^{ki}) \quad (11)$$

cost 함수가 최소가 되도록 하는 필터계수를 구하기 위해 다음과 같은 gradient 탐색 알고리즘을 사용한다^[10].

$$H^{(k)} = H^{(k-1)} - \mu_b \nabla C$$

$$= H^{(k-1)} - \mu_b [\nabla P + \lambda \nabla D] \quad (12)$$

이때 μ_b 는 알고리즘의 수렴속도와 정상상태 (steady state)에서 오차의 크기를 결정하는 상수로 서 몇번의 실험을 통해 적당한 값을 구할 수 있다.

III. 선형위상특성을 갖는 빔 형성기

왜곡이 없는 신호처리 시스템을 설계하려면 주파수 영역에서의 크기 응답은 일정한 값을 갖고 선형 위상 응답 특성을 갖도록 해야 한다^[10].

선형시스템의 충격응답(impulse response)이 대칭인 조건, 즉

$$h(M-n) = h(n) \quad n=0, 1, \dots, M \quad , M \text{은 짝수 이거나}$$

$$h(M-n) = -h(n) \quad n=0, 1, \dots, M \quad , M \text{은 홀수}$$

을 만족하면 선형 위상 특성을 갖는 causal FIR 시스템을 얻을 수 있다^[10].

본 논문에서는 각 센서의 필터계수를 중심 계수에 대해 대칭이 되도록 선택하여 전체 빔 형성기가 선형 위상 특성을 갖도록 하였다.

신호의 입사 방향을 알고 있으며 그 방향으로 회전 (steering) 되었다고 가정하면 M개의 센서를 가지고 각 센서당 N개의 필터계수를 가지는 빔 형성기는 그림 2와 같다¹⁵⁾.

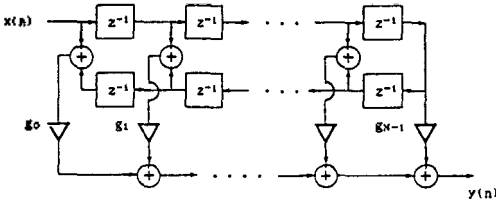


그림 2. 선형위상 특성을 갖는 빔 형성기
Fig. 2. The beamformer with linear phase response

IV. 샘플단위로 적용시키는 빔 형성기

제 2 장에서 보았듯이 Sondhi¹³⁾가 제안한 빔 형성기에서는 일정한 블럭마다 한번씩 필터의 계수를 최적화시키며 그 블럭 내에서는 똑같은 필터계수를 사용하여 출력을 얻었다. 그러나 음성 신호의 경우에는 시간에 따라 통계적 특성이 약간씩 변화하므로 한 블럭내에서 똑같은 필터계수를 사용하여 얻은 결과가 최적이라고는 볼 수 없다. 또한, 실제로 시스템을 구현할 경우 블럭 처리 방식은 정규화된 파워를 구하기 위한 임시 기억 장치를 필요로 하며 출력신호를 구하는 과정과 필터 계수를 적용시키는 과정을 하나의 모듈로 구성할 수 없다. 즉, 한 블럭에 대한 정규화된 파워를 구하기 위해서는 신호가 들어올 때마다 연산을 하며 그 결과를 계속 더해가야 하며, 이 결과를 바탕으로 필터 계수를 최적화 시켜야하므로 처리 과정이 분리되어 시스템이 복잡하게 된다. 샘플 단위로 정규화된 파워를 구하면, 파워를 구하는 과정과 필터를 최적화하는 과정을 하나의 흐름으로 연결할 수 있으므로 파이프라인(pipeline) 식의 병렬 처리도 가능하며, 쉽게 시스템을 구현할 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 정규화된 순시에너지를 사용하였다.

$$P_s = \frac{y^2(n)}{X_n^T X_n} = H^T \frac{X_n X_n^T}{X_n^T X_n} H \quad (13)$$

또한 왜곡값에 대한 식은 (10)과 같다. 왜곡값이 어느 일정한 값보다 작아야 하는 제한 조건하에서 직접 문제를 풀기는 어려우므로 다음과 같은 cost 함수를 정의한다.

$$C = P_s + \lambda D \quad (14)$$

(13) 식을 필터 계수 벡터 H에 대해 gradient를 취하면 다음과 같이 된다.

$$\nabla P_s = 2 \frac{X_n X_n^T}{X_n^T X_n} H \quad (15)$$

또한 (10)의 왜곡값을 h_m에 대해 gradient를 취한 값은 (14)와 같다. 2장에서 설명한 gradient 탐색 알고리즘을 적용시키면 필터의 계수를 적용시키는 과정은 다음과 같이 된다.

$$H^{(k)} = H^{(k-1)} - \mu_s \nabla C = H^{(k-1)} - \mu_s [\nabla P_s + \lambda \nabla D] \quad (16)$$

이때 μ_s 는 알고리즘의 수렴속도와 정상상태(steady state)에서 오차의 크기를 결정하는 상수로서 몇 번의 실험을 통해 적당한 값을 구할 수 있다.

V. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과 고찰

제 2 장에서 설명한 Sondhi¹³⁾ 알고리즘, 제 3 장에서 소개한 선형 위상 특성을 갖는 Sondhi 알고리즘, 제 4 장에서 제안한 샘플 단위로 적용시키는 알고리즘, 그리고 선형 위상 특성을 갖으면서 샘플 단위로 적용시키는 알고리즘에 대한 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 비교하였다.

시뮬레이션의 조건은 다음과 같다. 선형의 센서 어레이가 8개의 등간격 센서로 구성되며 각 센서당 8개의 필터계수를 가지며 센서의 간격은 4cm이다. 원하는 방향의 신호는 음성 신호를 표본화 주파수 8000Hz로 A/D 변환한 다음 각 센서에서의 신호를 얻었고 간섭 신호는 300-3000Hz의 대역폭을 갖는 간섭 신호이다. 신호 대 간섭 잡음비는 0dB인 경우에 대해 실행하였다. 여기에서 신호대 간섭 잡음비는 원하는 신호의 분산과 간섭 신호의 분산으로 정의한다. 신호의 방향은 원하는 음성 신호의 경우 0°(센서 선상에서 90°)에서 입사하고 간섭 잡음은 -45°(센서 선상에서 45°) 방향에서 입사한다.

블럭 처리 방법과 샘플 처리 방법에 동일한 환경을 제공하기 위하여 (16)의 μ_s 와 (12)의 μ_b 가 다음과 같은 관계를 가지도록 하였다.

$$\mu_s = \mu_b/B \quad (17)$$

이때 B는 한 살리를 이루는 샘플수이다.

또한 Sondhi가 제안한 빔 형성기와 본 논문에서 제안한 선형 위상 특성을 갖는 빔 형성기에 동일한 환경을 제공하기 위하여 신호 방향에 대한 왜곡값을 비슷하게 조정하였다. 시간에 따라 왜곡값은 약간씩 변하므로 정확한 값을 구할 수는 없지만, 시뮬레이션 결과 0 dB에서 약 0.5인 경우에 적절한 출력 신호를 얻을 수 있었다. Kaneda¹⁾는 왜곡이 0.3일 경우가 인간의 귀에 가장 적절한 값이라고 발표한 바 있지만 왜곡식이 다르며, 연구 환경도 같지 않으므로 본 논문과는 약간의 차이가 있다. 공간 영역에서의 이득 분포, 주파수 응답곡선, 그리고 실제의 출력파형을 통해 4가지의 빔 형성기에 대한 성능을 비교하였다.

5.1 공간 영역에서의 이득 분포

그림 3은 1-3KHz 범위에서 주파수를 100Hz 간격

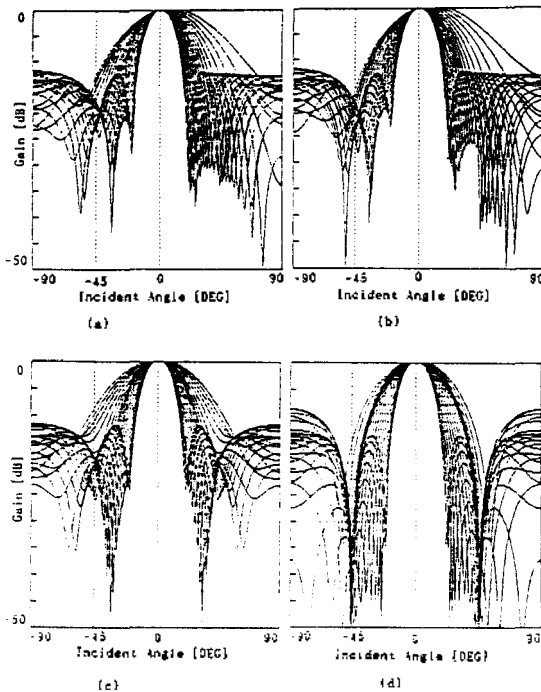


그림 3. 주파수 변화에 따른 공간 영역에서의 이득 분포
(a) Sondhi-Block 방법 (b) Sondhi Sample 방법
(c) Linear-Block 방법 (d) Linear Sample 방법

Fig. 3. Spatial domain gain for different frequency
(a) Sondhi-Block method (b) Sondhi-Sample method
(c) Linear-Block method (d) Linear-Sample method

으로 변화시켜서 구한 공간 영역에서의 이득 분포이다. 주파수가 변화함에 따라 공간 영역의 이득 분포는 약간씩 변하지만 신호방향(0°)에 대해서는 가장 큰 이득을 가지며, 다른 방향에서는 비교적 작은 이득을 가짐을 알 수 있다. 또한 선형 위상 특성을 갖으며 샘플 단위로 처리하는 빔 형성기는 다른 빔 형성기에 비해 잡음 방향에서 깊은 NULL을 형성하며 일관된 빔 형태를 가지고 있음을 알 수 있다.

5.2 주파수 응답곡선

그림 4와 그림 5는 각각 신호 방향과 간섭 신호 방향에 대해서 주파수가 0-4KHz일 경우의 크기 응답곡선을 보여주고 있다. 신호 방향에 대해서는 전 주파수 대역에 걸쳐 0 dB에 가까운 값을 가지며, 거의 평탄한 파형을 보여준다. 그러나, 잡음 방향에 대해서는 낮은 주파수 영역을 제외하고는 아주 작은 값을 가지므로 신호가 거의 통과할 수 없게 된다. 그림 4에서 응답곡선과 0 dB와의 차이가 그 주파수에서의 왜곡이다. 즉, 왜곡이 클수록 원하는 신호 방향에 대해 이득이 작아지므로 원하는 신호는 작아지지만 상대적으로 간섭 신호 방향으로의 이득도 작아지므로 인간의 귀에 적절한 신호를 얻을 수 있게 된다. 신호 방향에 대한 주파수 응답곡선을 보면 4개의 빔 형성기 모두 약 1KHz 이하의 주파수에서는 신호의 감쇄가 발생함을 알 수 있는데 그 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 낮은 주파수의 aperture size가 작기 때문에 발생하는 현상이다²⁾. 이 문제를 해결하기 위해서는 센서의 길이를 늘리면 되지만, 부파가 커지므로 실제 이용에 불편하게 된다. 또한 일반적으로 마이크로폰 어레이가 이용되는 회의에서는 신호원까지의 거리가 비교적 가깝기 때문에 마이크로폰을 길게 할 경우에는 신호가 평면파라는 가정에 위배된다. 센서의 길이를 늘리지 않고 낮은 주파수 대역의 이득을 크게 하기 위한 여러가지 방법이 연구되어 왔다³⁾. 그림 5에 보인 간섭 신호 방향에 대한 이득을 비교해 보면, 본 논문에서 제안한 선형위상 특성을 갖는 빔 형성기가 Sondhi가 제안한 빔 형성기보다 크며, 샘플 처리 방법이 블럭 처리 방법보다 더 우수한 성능을 가지고 있음을 알 수 있다.

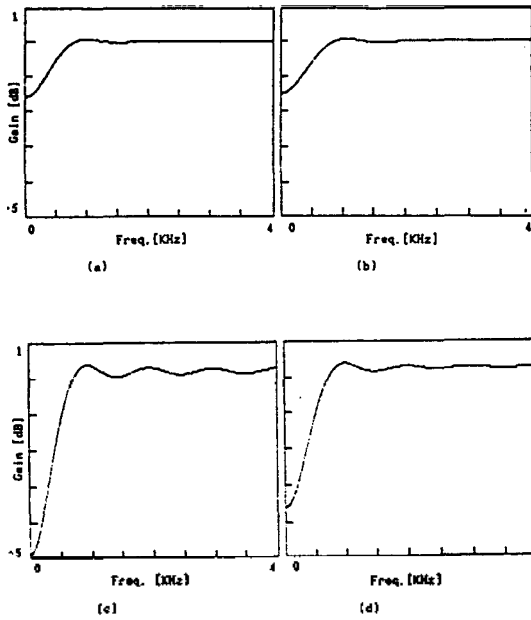


그림 4. 신호 방향에 대한 주파수 응답 곡선
 (a) Sondhi-Block 방법 (b) Sondhi-Sample 방법
 (c) Linear-Block 방법 (d) Linear-Sample 방법
 Fig. 4. Frequency response at desired signal direction
 (a) Sondhi-Block method (b) Sondhi-Sample method
 (c) Linear-Block method (d) Linear-Sample method

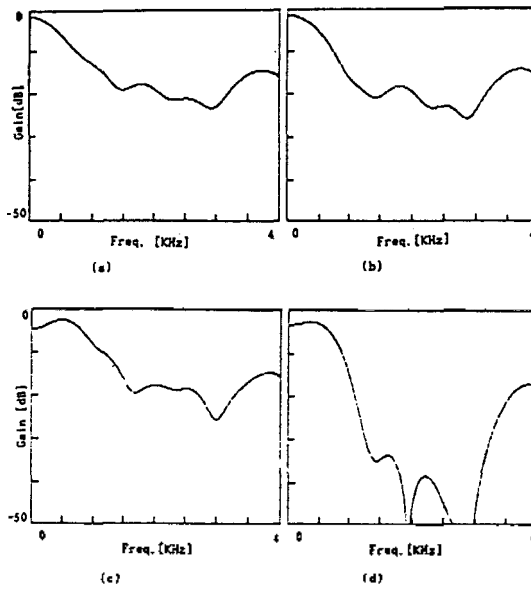
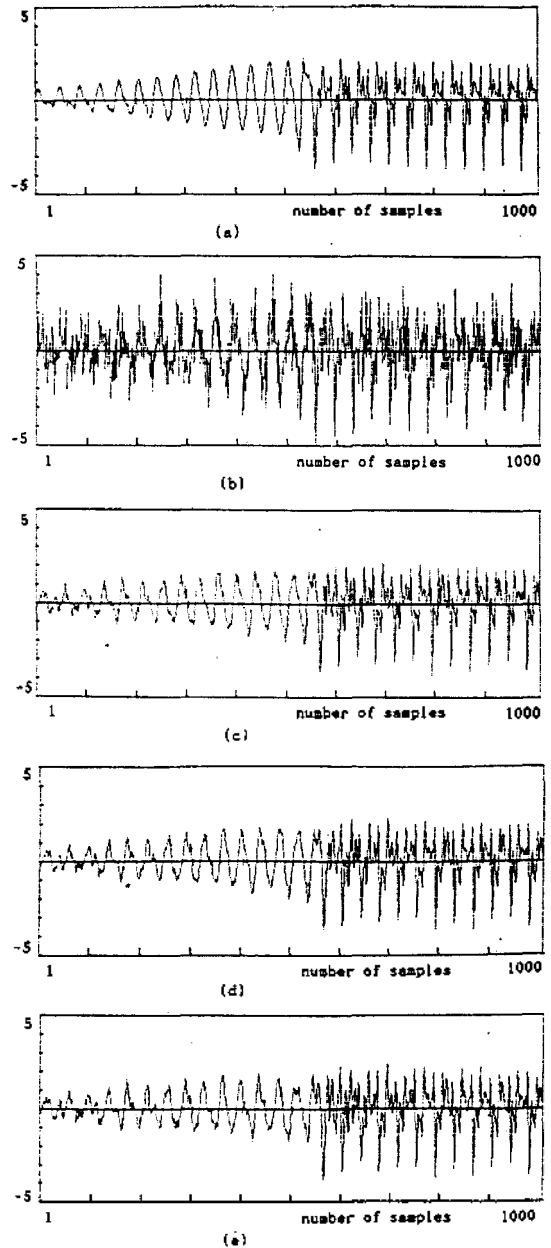


그림 5. 간섭 신호 방향에 대한 주파수 응답 곡선
 (a) Sondhi-Block 방법 (b) Sondhi-Sample 방법
 (c) Linear-Block 방법 (d) Linear-Sample 방법
 Fig. 5. Frequency response at desired signal direction
 (a) Sondhi-Block method (b) Sondhi-Sample method
 (c) Linear-Block method (d) Linear-Sample method

5.3 빔 형성기를 통과한 출력 신호

완전한 의미를 갖는 문장을 시험용 신호로 하여 각 빔 형성기의 성능을 비교하였다. 그림 6은 실험에 사용한 음성 신호, 대역폭이 제한된 잡음으로 간섭을 받는 음성 신호, 그리고 네가지 빔 형성기로 처리된 결과 신호를 보이고 있다. 선형위상 특성을 가지며, 샘플단위로 처리한 빔 형성기가 가장 잡음을 잘 제거함을 알 수 있다. 실제 청취 실험에서도 우수한 성능을 보였다.



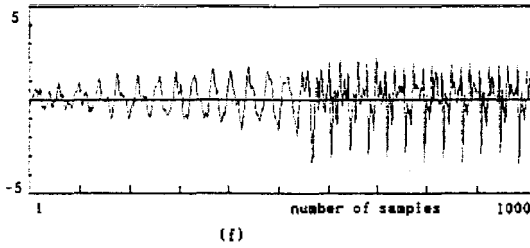


그림 6. 빔 형성기를 통과한 출력 파형

- (a) 실험에 사용된 음성신호
- (b) 잡음이 첨가된 음성신호
- (c) Sondhi-Block 방법

Fig. 6. Beamformer output signal

- (a) Original speech signal
- (b) Noise corrupted speech signal
- (c) Sondhi-Block method
- (d) Sondhi-Sample 방법
- (e) Linear-Block 방법
- (f) Linear-Sample 방법
- (d) Sondhi-Sample method
- (e) Linear-Block method
- (f) Linear-Sample method

VI. 결 론

Sondhi가 제안한 마이크로폰 어레이 시스템의 위상 왜곡에 따른 음질 저하를 극복하기 위해 원하는 신호 방향에 대해서 선형 위상 특성을 갖는 적응 빔 형성기를 제안하였으며 실제 시스템을 효과적으로 구현할 수 있도록 하기 위해 샘플 단위로 최적화시키는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 Sondhi가 제안한 빔 형성기와 이를 수정한 세가지 빔 형성기의 성능을 비교하였다.

Sondhi가 제안한 빔 형성기는 AMNOR 시스템과는 달리 FD(fictitious desired)신호가 필요하지 않으므로 시스템이 간단해진다는 장점이 있지만 음성 신호의 위상을 고려하지 않으므로 실제 출력 신호는 왜곡된다. 그러나 본 논문에서 제안한 선형 위상 특성을 갖는 빔 형성기는 사제에서 위상에 대한 측면을 고려해 주므로 우수한 성능을 얻을 수 있다. 또한 샘플 처리 알고리즘은 블럭 처리 알고리즘에 비해 연산 수는 많지만, 실제 시스템을 구현하기 용이하다는 장점이 있다.

샘플처리알고리즘과 블럭처리 알고리즘에 대한 자세한 성능 분석은 계속 연구되어야 할 것이다. 그리고, 1KHz 이하의 낮은 주파수 부분이 다른 주파수에 비해 이득이 작아지는 것과, 원하는 신호와 상관 관

계가 많은 음성 신호가 간섭 신호로 들어올 경우에 발생하는 문제도 앞으로 계속 연구되어야 할 것이다. 또한 처리된 결과 신호의 주관적인 성능 비교를 위한 연구도 필요할 것이다. 아울러, 본 논문의 시뮬레이션에서는 원하는 신호원이 고정된 위치에 있는 경우를 대상으로 하였으나, 실제 상황에서는 화자가 제한된 범위하에서 움직일 수 있으므로 이러한 화자의 미세한 움직임에 따른 신호원의 작은 위치 변동을 전체 시스템이 수용하도록 하는 문제도 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. M.M Sondhi and G.W. Elko, "Adaptive optimization of microphone arrays under a nonlinear constraints," International Conference on Acoust., Speech and Signal Processing 1986, pp. 981-984, 1986.
2. O.L. Frost, III, "An algorithm for linear constrained adaptive array processing," Proc. IEEE, vol. 60, pp. 926-935, 1972.
3. Y. Kaneda and J. Ohga, "Adaptive microphone array system for noise reduction," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, vol. ASSP-34, No. 6, pp. 1391-1400, Dec. 1986.
4. Y. Kaneda, "Adaptive microphone array system for noise reduction (AMNOR) and its performance studies," International Conference on Acoust., Speech and Signal Processing 1988, pp. 2395-2398, 1988.
5. 임병관, "적용 마이크로폰 어레이를 이용한 잡음의 제거," 석사학위논문, 연세대학교 대학원 12월 1989.
6. M.R. Sambur "Adaptive noise cancelling for speech signals," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, vol. ASSP-26, No. 5, Oct. 1978.
7. B. Widrow and S. D. Sterns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice Hall Inc., 1985
8. R.A. Monzingo, *Introduction to adaptive arrays*, A Wiley Interscience publication, 1980
9. N. Ahmed and T. Natarajan, *Discrete time signals and systems*, Reston publishing company, 1983.
10. S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, 1986.
11. C.Y. Suen and R.D. Mori, *Computer Analysis and Perception* Boca Raton, FL: CRC Press, 1982

▲강 홍 구



1966년 11월 1일생
 1989년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1991년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1991년 3월~현재 : 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

▲윤 대 회(정회원)



1951년 5월 25일생
 1977년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1977년 5월 : Department of Electrical Engineering, Kansas State University (M.S)

1982년 5월 : Department of Electrical Engineering, Kansas State University(Ph.D)
 1982년 8월~1985년 6월 Department of Electrical and Computer Engineering, University of IOWA 조교수
 1985년 9월~현재 연세대학교 전자공학과 교수

▲차 일 환(정회원)



1935년 12월 25일생
 1959년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(공학석사)
 1983년 8월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
 1969년~1970년 : 영국 University of Southampton

Institute of Sound and Vibration 연구원
 1986년 9월~1987년 7월 : Department of Electrical and Computer Engineering, University of IOWA 교환교수
 1988년 8월 : 연세대학교 전자공학과 교수