

마이크로폰 어레이를 위한 최적 패턴 형성

Optimum Pattern Synthesis for a Microphone Array

장 병 건*, 권 태 능*, 변 윤 식**

(Byong Kun Chang*, Tae Neung Kwon*, Youn Shik Byun**)

※본논문은 1995년도 한국과학재단 연구비지원에 의하여 수행되었습니다.

요 약

이 논문은 원거리회의 환경에서 음성신호와 같은 광대역 신호를 다룰 수 있는 마이크로폰 어레이의 빔패턴(beam pattern)을 형성하는 효과적인 방법에 대하여 서술한다. 어레이의 변수를 반복적으로 변화시킴으로써, 측면엽의 높이를 조정하여 일정한 수준의 측면엽을 형성하며, 갱신된 측면엽을 대수적으로 찾지 않고 수치적으로 찾는 접근방법을 제안하였다. 어레이 계수나 마이크로폰 간격을 어레이변수로 사용하였으며, 마이크로폰 어레이 가시범위에 공간적으로 균일하게 입력되는 방향성잡음 또는 배경잡음을 효과적으로 줄일 수 있는 Dolph-Chebyshev 형태의 최적화패턴을 형성하였다. 어레이 계수보다 마이크로폰 간격을 변화시키는 것이 광대역신호를 더 효과적으로 다룰 수 있는 최적화 패턴을 제공하는 것이 판명되었다. 또한 방향조정(scanning)상황 하에서 측면엽에 강한(robust)패턴을 형성할 수 있는 방법을 제안하였으며, 컴퓨터 실험결과를 제시하였다.

ABSTRACT

This paper concerns an efficient approach to forming a beam pattern of a microphone array to deal with broadband signals such as speech in a teleconference. A numerical method is proposed to find updated location of sidelobes for equalizing the sidelobes via perturbation of array parameters such as array weight or microphone spacing. Thus the microphone array is optimized in a Dolph-Chebyshev sense such that directional or background noises incident in an array visual range are eliminated efficiently.

It is shown that perturbation of microphone spacing yields an optimum pattern more appropriate for dealing with broadband signals than that of array weight. Also, a novel method is proposed to find a beam pattern which is robust with respect to sidelobe in a scanning situation. Computer simulation results are presented.

I. 서 론

안테나 또는 센서(sensor)어레이는 고도의 송신 또는 수신 감도를 이루기 위하여 레이더(radar), 소나(sonar), 지질학, 원거리 통신 등의 분야에서 널리 사용되어왔다[1-4].

원거리 회의 시스템에서는 두 개 이상의 마이크로폰(microphones)으로 어레이를 형성하여 방향성이 있는 잡음이나 또는 배경잡음과 섞인 음성신호를 고감도로 수신하기 위한 목적으로 사용할 수 있다. 원하는 음성신호와 잡음신호의 방향이 다른 경우에 마이크로폰 어레이는 관

련잡음을 공간적으로 줄일 수 있는 공간적 여파기(spatial filter)와 같은 역할을 하게 된다. 원거리 회의에서와 같이 공간적으로 불규칙하게 분포되어 있는 잡음을 효과적으로 감소시키기 위하여는, 빔패턴의 측면엽의 수준이 어레이의 가시범위에 균일하게 분포되도록 빔패턴을 형성하는 것이 필요하며, 주빔(mainbeam)의 폭은 화자의 배치와 마이크로폰 어레이의 기하학적 구조에 따라 정해진다. 일반적으로 주빔의 폭은 어레이의 길이에 의존한다.

일정한 수준의 측면엽을 가진 빔패턴을 형성하기 위한 다양한 방법들, 예를 들면 Dolph-Chebyshev방법[5], 변화(perturbation)방법[6], 최소자승방법(least square)[7], 최소 최대 방법(minimax)[8]등이 있다. 최적화에 사용하는 어레이 변수는 일반적으로 두가지이며, 소자의 간격과 어레이 계수이다. 소자간격을 계수로 사용할 경우에는, 어레이 팩터(array factor)는 소자간격에 관하여 비선형함수

* 인천대학교 전기공학과
Dept. of Electrical Eng., University of Incheon
** 인천대학교 전자공학과
Dept. of Electronics Eng., University of Incheon
접수일자: 1996년 8월 30일

가 되며, 소사위치에 대하여 부한수의 조합이 있기 때문에, 소사간격에 대하여 빔패턴을 최적화하는 문제는 해석적으로 최적화하기가 어렵다. 선형화를 통하여 최적화하여 근사적인 해를 구할 수 있다. 어레이 계수를 사용할 경우에는 최적화 문제는 선형이 되므로, 소사간격의 경우보다 풀기가 쉽다. 어레이가 정방향인 아닌 방향으로 방향 조정되면 최적화문제는 더 어렵게 된다. 일반적으로 방향 조정의 경우에는 측면롭의 성능이 저하된다.

이 논문에서는, 공간적으로 또는 주파수범위에서 광대역신호를 잘 다룰수 있는, 측면롭이 균일한 빔패턴을 어레이 계수 또는 소사간격을 변화시켜 효과적으로 형성하기 위한 효과적인 방법을 제안하였다. 변화방법[6]에서는 갱신된 측면롭의 위치를 대수적으로 찾게 되는데, 제안된 방법에서는 측면롭을 수치적으로 맞추므로써, 해석적 방법에 관련한 오차를 감소시킬 수 있다. 변화방법은 어레이 계수나 소사간격을 반복적으로 변화시켜, 낮은 측면롭은 높여 주고, 높은 측면롭은 낮추어, 전체적으로 균일한 측면롭을 형성하게 한다. 소사 간격을 사용할 경우, 비선형함수인 어레이 팩터는 테일러급수전개(Taylor series expansion)를 이용하여 선형화되어 최적화된다. 방향 조정시 측면롭의 수준에 강한 최적화 패턴을 형성할 수 있는 최악의 경우 방법(the worst case approach)을 제안하였다.

II. 변화방법(Perturbation Method)

어레이 계수와 마이크론의 간격에 대하여 대칭인 (2N+1)개의 마이크론으로 구성된 선형어레이(linear array)가 그림 1에 제시되어 있다. 각 마이크론의 패턴은 전방향성이고(omnidirectional) 입력신호는 평면파(plane waves)라고 가정하면, 어레이 팩터는 아래와 같이 주어진다.

$$H(f, \omega, a_i, d_i) = a_0 + 2 \sum_{i=1}^N a_i \cos(f d_i \omega) \quad (1)$$

여기서 f 는 어레이의 중앙 주파수에 의하여 정규화된 주파수이며, $\omega = \pi \sin \theta$, θ 는 어레이 축의 정방향으로부터의 각도이며, a_i 는 어레이 계수이며 d_i 는 $\lambda/2$ 로 정규화된 마이크론간의 간격이며, a_0 는 중앙에 위치한 마이크론의 계수이며 i 는 마이크론의 위치를 나타내는 지표이다. 식(1)에 주어진 어레이 팩터는 주빔이 어레이 축으로부터 정방향(normal)으로 방향 조정된 경우이다.

변화방법의 기본 개념은 마이크론 간격이나 어레이 계수를 반복적으로 조금씩 변화시켜, 주어진 측면롭의 기준 수준보다 높은 측면롭은 낮추어 주고, 낮은 측면롭은 높여줌으로써, 균일한 측면롭을 가진 최적 패턴을 만드는 것이다.

빔패턴의 측면롭의 수가 L 개라고 가정하고, 그 위치를 $\omega_j, 1 \leq j \leq L$ 라고 하면, 각 ω_j 에 관한 어레이 팩터의 미분치는 0이 되어야 하므로 다음 식이 성립한다.

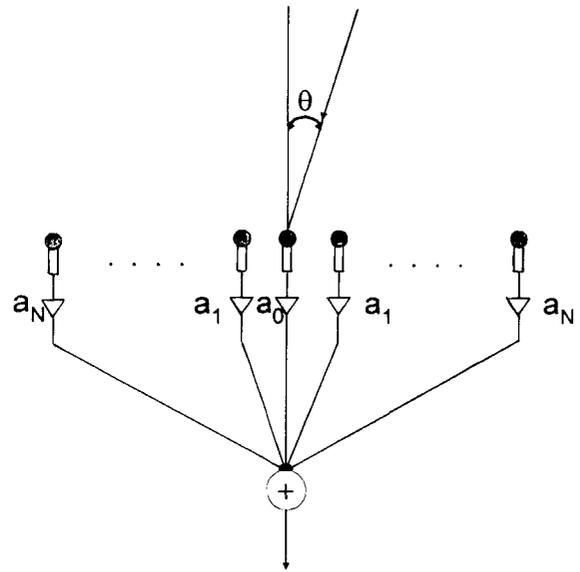


그림 1. 선형 마이크론 어레이.

$$\sum_{i=1}^N a_i d_i \sin(f d_i \omega_j) = 0, \quad 1 \leq j \leq L \quad (2)$$

변화방법에서는 식(1)과 (2)를 이용하여 각 측면롭의 높이가 주어진 기준 수준에 접근하도록 어레이 계수 a_i 나 마이크론 간격 d_i 를 반복적으로 변화시켜 주며, 관련 변수가 최적치에 도달하게 되면 측면롭은 균일한 분포를 이루게 된다.

2.1 마이크론 간격에 의한 최적화

이 방법에서는 어레이 계수는 일정하게 유지하고 마이크론 간격을 변화시킴으로써, 최적화된 빔패턴을 구한다. 임의의 초기 간격으로 시작하여, k 번째 간격 d_i^k 를 Δd_i^k 만큼 변화시키면 $(k+1)$ 번째의 간격 d_i^{k+1} 는

$$d_i^{k+1} = d_i^k + \Delta d_i^k \quad (3)$$

가 된다. 이와 같은 간격의 변화에 따라서, 측면롭의 위치와 어레이 팩터의 이득(gain)이 변하게 되므로 각각 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_j^{k+1} = \omega_j^k + \Delta \omega_j^k \quad (4)$$

$$H_j^{k+1} = H_j^k + \Delta H_j^k \quad (5)$$

여기서 H_j^k 는 $H_j^k(f, \omega_j^k, a_i^k, d_i^k)$ 를 나타내며, $\Delta \omega_j^k$ 와 ΔH_j^k 는 각각 k 번째 측면롭의 위치와 어레이 팩터 이득의 변화량을 나타낸다. 식(3), (4), (5)를 식(1)과 (2)에 대입하면 아래와 같다[6].

$$H_j^{k+1} = a_0 + 2 \sum_{i=1}^N a_i \cos[f(d_i^k + \Delta d_i^k)(\omega_j^k + \Delta \omega_j^k)] \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N a_i(d_i^k + \Delta d_i^k) \sin[f(d_i^k + \Delta d_i^k)(\omega_j^k + \Delta \omega_j^k)] = 0, \quad 1 \leq j \leq L \quad (7)$$

변화량이 아주 작다고 가정하고, 아래와 같은 근사식을 사용하여 선형화 하면

$$\sin[f(d_i^k \Delta \omega_j^k + \omega_j^k \Delta d_i^k + \Delta d_i^k \Delta \omega_j^k)] \approx f d_i^k \Delta \omega_j^k + f \omega_j^k \Delta d_i^k \quad (8)$$

$$\cos[f(d_i^k \Delta \omega_j^k + \omega_j^k \Delta d_i^k + \Delta d_i^k \Delta \omega_j^k)] \approx 1 \quad (9)$$

해당 변수의 변화량에 대하여 아래와 같은 선형방정식을 얻게 된다.

$$\Delta H_j^k = -2f \omega_j^k \sum_{i=1}^N a_i \Delta d_i^k \sin(f d_i^k \omega_j^k), \quad (10)$$

$$f \Delta \omega_j^k \sum_{i=1}^N a_i d_i^{k2} \cos(f d_i^k \omega_j^k) + f \omega_j^k \sum_{i=1}^N a_i d_i^k \Delta d_i^k \cos(f d_i^k \omega_j^k) + \sum_{i=1}^N a_i \Delta d_i^k \sin(f d_i^k \omega_j^k) = 0 \quad (11)$$

원하는 측면류의 기준 수준은 측면류의 이득 H_j^k , $1 \leq j \leq L$ 의 중간치로 설정되며, ΔH_j^k 는 이와 같이 주어진 기준 수준과 j 번째 측면류의 이득간의 차이의 작은 부분이다. 주어진 ΔH_j^k 를 이용하여 선형방정식(10)으로부터 간격의 변화량인 Δd_i^k 를 구하고 이것을 식(11)에 대입하여 측면류의 위치 변화량인 $\Delta \omega_j^k$ 를 구하게 된다. 간격과 측면류 위치의 변화량에 의하여 형성된 측면류로부터 다음 간격에 대한 변화량을 구하게 되며, 최적치에 도달할 때까지 이와 같은 과정을 반복하게 된다. 선형 방정식을 풀기 위하여 IMSL(International Mathematical and Statistical Libraries) routine[9]을 사용하였다. 각 반복에서 Δd_i^k 와 $\Delta \omega_j^k$ 의 유일한 답을 얻기 위해서는 조정되는 측면류의 수 L 과 변화되는 마이크로폰 간격의 수 N 이 같아야 되며, 측면류의 기준 수준이 너무 낮게 설정되면, 성능이 떨어진 빔패턴을 얻게 될 수도 있다.

2.2 어레이 계수에 의한 최적화

여기에서는 마이크로폰 간격은 일정하게 유지하고, 어레이 계수를 반복적으로 변화시킴으로써 최적화된 빔패턴을 만들게 된다. k 번째 어레이 계수 a_i^k 를 Δa_i^k 만큼 변화시키면 $(k+1)$ 번째의 계수는 다음 식으로 주어진다.

$$a_i^{k+1} = a_i^k + \Delta a_i^k \quad (12)$$

이에 따라서 측면류의 위치와 어레이 이득이 식(4)와 (5) 같이 변화하게 되며, 식(12)와 함께 식(1)과 (2)에 각각 대입한 후 $\Delta \omega_j^k$ 를 작다고 가정하고 근사식을 이용하면, 다음과 같은 선형 방정식을 얻을 수 있다.

$$\Delta H_j^k = 2 \sum_{i=1}^N \Delta a_i^k \cos(f d_i^k \omega_j^k) \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^N \Delta a_i^k d_i^k \sin(f d_i^k \omega_j^k) + f \sum_{i=1}^N \Delta \omega_j^k a_i^k d_i^k \cos(f d_i^k \omega_j^k) = 0 \quad (14)$$

주어진 측면류 기준 수준과 실제적인 측면류의 높이 H_j^k , $1 \leq j \leq L$ 의 차이로 주어지는 ΔH_j^k 를 이용하여 식(13)에서 Δa_i^k 를 구하고 그 결과를 식(14)에 대입하여 $\Delta \omega_j^k$ 를 구한 후, 갱신된 측면류의 위치를 이용하여, 다음 계수의 변화분을 구하며, 이와 같은 과정을 반복하게 된다.

지금까지 설명된 변화방법에서는 초기에 지정된 측면류의 위치를 식(11) 또는 (14)로부터 갱신하게 되므로, 초기에 지정된 측면류에 대하여만 조정이 가능하고, 그 외의 측면류가 존재할 경우에는 그것들의 조정은 불가능하다. 또한 선형화에 의하여 구하여진 측면류의 위치는 실제 위치에 대한 근사치가 되기 때문에, 반복이 거듭될수록 측면류의 위치의 오차가 커질 가능성이 있다. 이와 같은 단점들을 보완하기 위하여 측면류의 조정을 효과적으로 할 수 있는 수정 변화방법을 제안한다.

III. 수정 변화방법

변화방법에서는 초기에 지정된 측면류 이외의 측면류들은 조정이 불가능하므로 이들의 수준이 기준수준보다 높아질 경우에는 어레이 성능이 저하되며, 또한 측면류의 위치의 부정확성에 의하여도 어레이 성능이 저하될 수 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해서는 반복 주기마다 정확한 측면류의 위치를 찾아서 원하는 수만큼의 가장 높은 측면류들을 선택하여 조정하는 것이 바람직하다. 이를 위하여, 수정 변화방법에서는 측면류를 종전의 방법과 같이 대수적으로 찾지 않고, 갱신된 간격이나 계수에 의하여 형성된 빔패턴에서 수직적으로 찾음으로써, 갱신된 측면류의 정확한 위치를 얻을 수 있다. 따라서, 변화방법에서 발생하는 측면류에 관한 단점을 보완함으로써 기준 수준에 대한 최적화를 효율적으로 이룰 수 있다.

3.1 어레이 계수에 의한 최적화

주어진 ΔH_j^k 에 대하여 아래에 다시 제시된 선형방정식(13)을 LU factorization을 이용한 IMSL routine을 사용하여 풀어서 어레이 계수의 변화분 Δa_i^k , $1 \leq i \leq N$ 를 구한다.

$$\Delta H_j^k = 2 \sum_{i=1}^N \Delta a_i^k \cos(f d_i^k \omega_j^k), \quad 1 \leq j \leq L \quad (13)$$

Δa_i^k 에 대한 유일한 해를 구하기 위하여는 선형 방정식의 수 L 과 구할 계수의 수 N 이 같아야 한다. 구하여진 Δa_i^k 로 식(12)로부터 $(k+1)$ 번째 어레이 계수 a_i^{k+1} 를 갱신하고 아래의 어레이 패턴식에 의하여 빔패턴을 구한다.

$$H^{k+1} = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i^{k+1} \cos(f d_i^k \omega) \quad (15)$$

이렇게 구하여진 빔패턴으로부터 최대측면롭의 위치 $\omega_j, 1 \leq j \leq L$ 를 수치적으로 구하여 각 측면롭의 높이와 기준 수준으로부터 구한 ΔH_j^{*1} 을 이용하여 $\Delta \alpha_j^{*1}$ 을 구하여 다음 어레이 계수를 개선하며, 이와 같은 과정을 반복하게 된다.

수정변화방법에 대하여 컴퓨터 실험을 수행하였으며 15(N=7)개의 마이크로폰으로 구성된 선형어레이를 이용하였다. 마이크로폰 어레이의 간격은 균일하게 $\lambda/2$ 로 하였고, 초기 어레이 계수는 균일하게 정규화된 계수로 하였다. 중앙에 위치한 마이크로폰의 계수는 고정시켜 변화할 주지 않았다. 주빔을 어레이 축으로부터 정방향으로 조정된 상태에서 수정 변화방법으로 최적화하여 초기 패턴과 최종 패턴을 그림2에 나타내었고, 각각에 해당하는 어레이 계수를 Table1에 나타내었다. 측면롭이 약 -25dB에서 균일하게 최적화되었고, 주빔의 폭은 초기 패턴보다 조금 넓어졌음을 알 수 있다. 어레이 축으로부터 정방향으로 조정된 후 어레이의 중앙 주파수($f=1$)에서 최적화한 계수를 가지고, 주파수의 범위가 2 octaves의 범위 내에서, 주파수가 중앙주파수의 반인 경우($f=0.5$), 중앙 주파수인 경우, 1.5배인 경우($f=1.5$), 그리고 2배인 경우($f=2$)에 대한 빔패턴의 3차원 도식이 그림 3에 나타나 있다. 주파수가 1.5까지는 측면롭의 높이가 -25dB를 유지하나 주파수가 2에서는 주빔과 같은 grating lobe이 나타나는 현상을 볼 수 있다. 이것은 마이크로폰 간격이 $\lambda/2$ 로 균일하기 때문에 나타나는 aliasing현상에 의한 결과이다. 따라서, 마이크로폰 간격이 균일한 경우의 어레이 계수에 의한 변화는 광대역 주파수 신호에는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 주빔의 폭에 대하여는 그림에서와 같이, 주파수가 작아지면 주빔이 넓어지고 주파수가 커지면 주빔이 좁아지게 되는데, 실제적으로 음성신호는 어레이 중앙 주파수를 중심으로 대역폭을 가지게 되므로, 주빔의 폭은 어레이 중앙 주파수의 폭과 근사하다고 볼 수 있다. 그림 4에는 각 주파수에서 나타난 최대 높이의 측면롭의 수준을 주파수의 함수로 나타내었다.

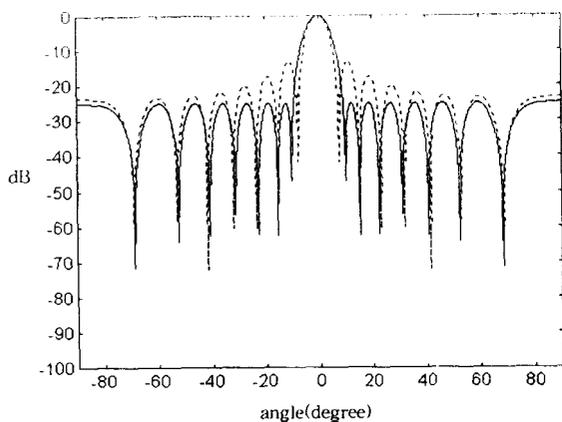


그림 2. 최적화된 빔패턴(실선); 초기 빔패턴(점선); N=7.

정방향과 $f=1$ 에서 최적화된 빔패턴을 30°와 45°로 방향 조정했을 때의 빔패턴과 함께 그림 5에 나타내었다. 방향 조정 시에는 측면롭의 높이가 방향에 관계없이 일정한 것을 알 수 있으며, 주빔의 폭은 방향각도가 클수록 넓어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 방향조정 시 유효한 어레이 길이가 $\cos\theta$ 에 비례하여 적어짐으로써 나타나는 현상이다. 마이크로폰의 수가 11개인 경우에도 동일한 실험을 수행하였으며, 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 실험 결과에서 나타난 바와 같이, 광대역 신호를 다루는 데는 어레이 간격을 균일하게 하고 어레이 계수를 최적화하는 것은 공간적 aliasing현상으로 인한 grating lobe의 출현으로 적합치 않으며, 이와 같은 현상을 방지하기 위하여 마이크로폰 간격으로 최적화하는 것이 바람직하다.

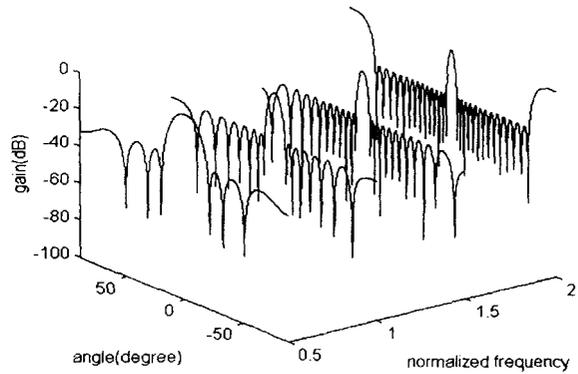


그림 3. 최적 계수에 의한 각도와 주파수 함수로서의 빔패턴.

Table 1

마이크로폰 위치번호	초기 계수	최종 계수
1	6.666667E-02	6.519563E-02
2	6.666667E-02	6.093170E-02
3	6.666667E-02	5.430253E-02
4	6.666667E-02	4.596123E-02
5	6.666667E-02	3.669414E-02
6	6.666667E-02	2.731732E-02
7	6.666667E-02	3.125883E-02

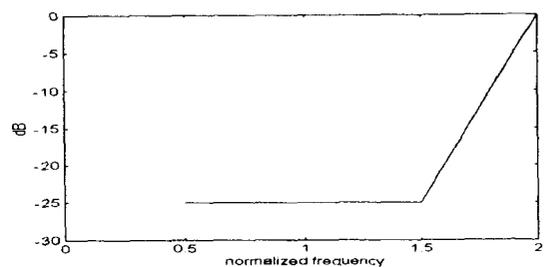


그림 4. 최적 계수에 의한 주파수에 대한 최대 측면롭의 변화 N=7.

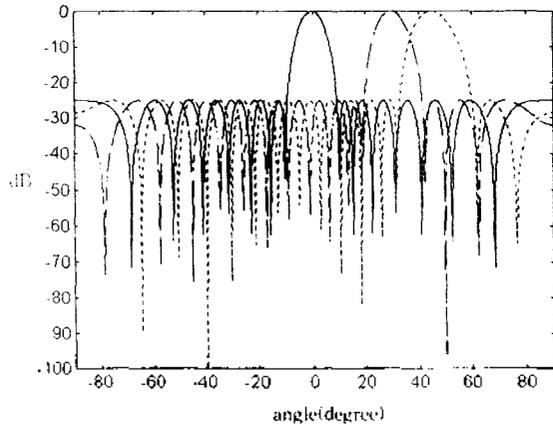


그림 5. 어레이 계수에 의하여 최적화된 빔패턴; 방향각도: 0°, 30°, 45°; N = 7.

3.2 마이크로폰 간격에 의한 최적화

주어진 ΔH_j^k 에 대하여 마이크로폰 간격의 변화분 Δd_i^k 는 어레이 계수의 경우와 같이 아래에 다시 제시된 선형 방정식 (10)에 LU factorization을 이용하여 구한다.

$$\Delta H_j^k = -2f\omega_j^k \sum_{i=1}^N a_i^k \Delta d_i^k \sin(f\omega_j^k d_i^k), \quad 1 \leq j \leq L \quad (10)$$

여기서도 L과 N이 같을 때, $\Delta d_i^k, 1 \leq i \leq N$ 을 유일하게 구할 수 있다. 구하여진 Δd_i^k 를 이용하여 식(3)으로 갱신된 간격 d_i^{k+1} 로 아래의 식을 이용하여 빔패턴을 구한다.

$$H^{k+1} = a_0 + 2 \sum_{i=1}^N a_i \cos(f d_i^{k+1} \omega) \quad (16)$$

구하여진 빔패턴으로부터 지정된 수의 최대 측면엽의 위치 $\omega_j, 1 \leq j \leq L$ 를 수치적으로 구하며 해당하는 측면엽의 높이와 기준 수준의 차이로부터 구한 ΔH_j^{k+1} 을 이용하여 Δd_i^{k+1} 를 구하여 마이크로폰 간격을 갱신하고, 다음 측면엽의 위치를 구한다. 이와 같은 과정을 반복하여 최적화된 마이크로폰 간격을 구한다.

초기의 마이크로폰 간격과 어레이 계수가 균일하며, 마이크로폰 수가 15개의 마이크로폰으로 구성된 선형 어레이를 이용하여 컴퓨터 실험을 수행하였다. 중앙에 위치한 마이크로폰은 대칭성을 유지하기 위하여 고정시켰으며, 양 끝에 위치한 마이크로폰은 어레이 길이를 일정하게 유지하기 위하여 고정시켰다. 따라서, 이 세 마이크로폰은 최적화 과정에서 제외되었다. 마이크로폰의 수가 15개이고 어레이 중앙 주파수(f=1)에 대하여 초기 패턴과 최적화된 패턴이 그림 6에 도식되었다. 초기 간격과 최적화된 간격이 Table2에 제시되어 있다. 측면엽의 높이가 -21dB까지 균일하게 낮아졌고, 주빔의 폭이 조금 넓어진 것을 알 수 있다. 어레이의 중앙 주파수에서 최적화된 마이크로폰 간격을 가지고, 주파수 f=0.5, 1, 1.5, 2에 대한 패턴의 3차원 도식이 그림 7에 나타나 있다. 주파수 대역이 300 Hz~4 kHz의 음성신호의 경우 f=1은 대략 2

kHz가 된다. 주파수가 1.5와 2일 때 양측부근의 측면엽이 높아지는 현상이 나타나는데, 계수의 최적화 경우처럼 grating lobe은 나타나지 않음을 알 수 있다. 주파수가 1.5와 2일 때 측면엽의 수준은 -12.1 및 -6.3 dB으로 나타났으며, 주파수가 2인 경우에 계수에 의하여 최적화된 경우에 비하여 측면엽의 성능이 개선되었고, 다른 주파수에서는 계수에 의하여 최적화 된 경우가 성능이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 마이크로폰 간격을 이용한 최적화는 음성신호와 같은 광대역 신호를 다루는 데 더 효과적임을 알 수 있다. 어레이 계수에 의한 결과(그림 3)와 비교할 때 현대역폭의 신호에 대하여는 계수에 의한 최적화가 효과적임을 알 수 있다. 주빔의 폭은 어레이 계수의 최적화 경우와 같은 현상을 보인다. 그림 8에는 각 주파수에서의 측면엽의 최대높이를 주파수의 함수로 나타내었다. 그림 9에는 정방향에서 최적화된 빔패턴을 30°와 45°로 방향조정했을 때의 빔패턴과 함께 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 정방향에서 최적화된 빔패턴을 방향조정했을 때, 측면엽이 정방향의 경우보다 너무 높아지는 현상이 나타난다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여는, 방향조정 각도에 따라 높이가 변하지 않는 측면엽을 형성하는 것이 바람직하다.

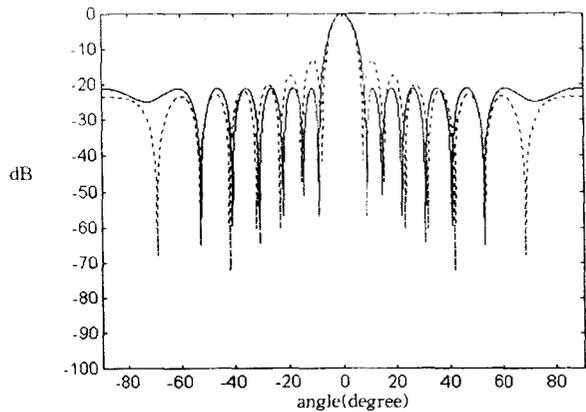


그림 6. 최적화된 빔패턴(실선); 초기 빔패턴(점선); N = 7.

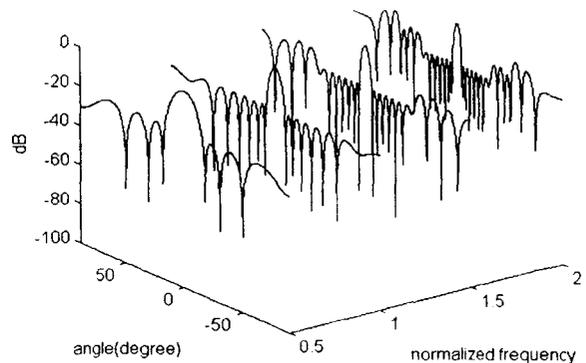


그림 7. 최적 간격에 의한 각도와 주파수 함수로서의 빔패턴.

Table 2

마이크로폰 위치번호	초기 간격($\lambda/2$)	최종 간격($\lambda/2$)
1	1	7.289042E-01
2	2	7.677844
3	3	2.331290
4	4	3.405496
5	5	4.309958
6	6	5.674275
7	7	7.000000

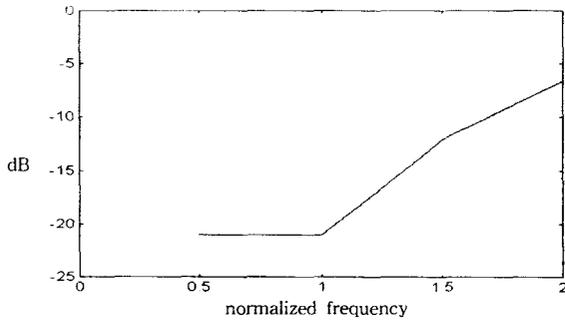


그림 8. 최적 간격에 의한 주파수에 대한 최대 측면롭의 변화; N=7.

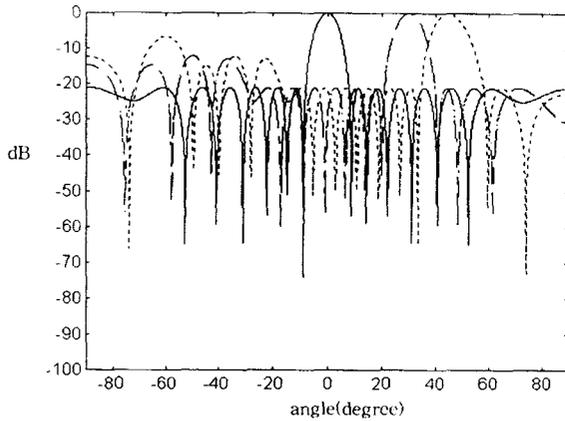


그림 9. 최적 간격으로 최적화된 방향조정시 빔패턴; N=7.

IV. 방향조정에 강한 측면롭의 최적화

정방향인 아닌 방향에 위치한 화자의 음성을 수신하기 위하여, 어레이의 방향을 조정하게 되며, 이로 인하여 측면롭의 수준이 높아지게 되고, 주변잡음의 제거능력이 저하된다. 이와 같이 측면롭이 높아지는 현상을 방지할 수 있는 방향조정에 강한 최적 빔패턴을 형성하는 것이 바람직하다. 요구되는 최대 방향조정 각도에 상응한 ω_0 를 놓으면 방향조정된 빔패턴은 아래와 같다.

$$H_0(f, \omega, a_i, d_i) = a_0 + 2 \sum_{i=1}^N a_i \cos[f d_i (\omega - \omega_0)] \quad (17)$$

제안된 방법에서는 이와 같이 방향조정된 빔패턴을 최

악의 경우(the worst case)로 가정하고 이패턴을 먼저 최적화시킨다. 최적화된 빔패턴은 방향 조정 범위 내에서는 최적화된 측면롭의 수준을 그대로 유지하게 되며, 따라서 방향조정에 영향을 받지 않는 측면롭의 성능을 얻을 수 있게 된다. 컴퓨터 실험은 어레이 계수와 마이크로폰 간격에 대하여 방향조정된 빔패턴을 최적화하였다. 마이크로폰의 수는 15개를 사용하였으며, 방향조정 각도는 어레이 정방향으로부터 45°로 하였다. 45°에서 어레이 계수로 최적화하여 -45°, -30°, 0°, 30°, 45°로 방향 조정하여 만든 빔패턴들을 그림 10에 함께 도식하였다. 최적화한 마이크로폰 간격을 이용하여 같은 경우에 대하여 만든 빔패턴들을 그림 11에 도식하였다. 이 결과에서 알 수 있듯이 최대 방향조정 각도에서 최적화된 측면롭의 수준은 그 범위내에서는 방향각도에 관계없이 일정한 수준을 유지하는 것을 볼 수 있다. 그러나 측면롭의 수준은 정방향에서 최적화한 경우보다는 다소 높은 것으로 나타났다.

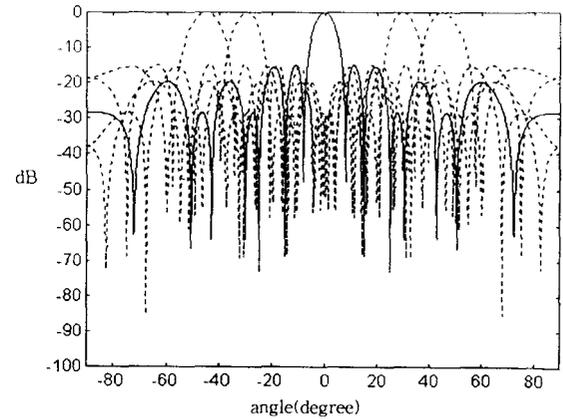
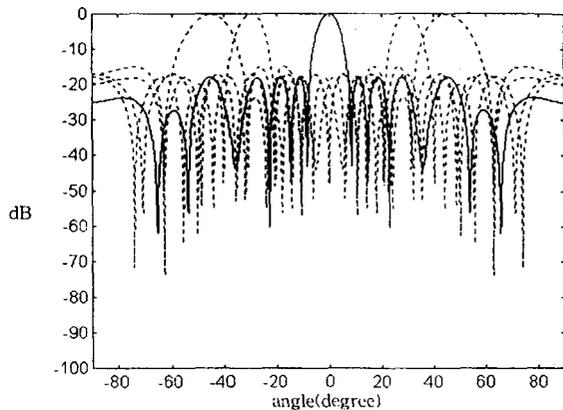


그림 10. 최적 계수에 의한 방향조정에 강한 패턴; 조정각도 범위: $\pm 45^\circ$; N=7.



V. 결 론

원거리 회의 시스템에서 음성신호와 같은 광대역신호를 상대편 화자에게 효과적으로 전달할 수 있는 마이크로폰 어레이의 최적 패턴 형성에 대하여 논의하였다. 기존의 변화 방법을 개선한 수치적 접근 방법을 이용하여 어레이 계수나 마이크로폰 간격을 변화시켜, 어레이 가시범위에 산재하는 잡음을 효과적으로 제거할 수 있는, 측면롭이 균일한 최적 패턴을 성공적으로 형성할 수가 있었다. 어레이 계수보다 마이크로폰 간격을 변화시키는 것이 광대역 신호를 다루는 데 효과적임이 판명되었다. 또한, 어레이 방향조정시 측면롭이 높아지는 현상을 방지하기 위하여, 방향조정이 된 상태에서 어레이를 최적화함으로써 주어진 방향조정 각도 내에서는 수준이 균일한 측면롭을 갖는 빔패턴을 구현하였다.

참 고 문 헌

1. S. P. Applebaum and D. J. Chapman, "Adaptive with main beam constraints," IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol. AP-24, no. 5, pp. 650-662, Sept. 1976.
2. J. H. Chang and F. B. Tuteur, "A new class of adaptive array processors," J. Acoust. Soc. Am., vol. 49, no. 3, pp. 639-649, Mar. 1971.
3. R. T. Lacoss, "Adaptive combining of wideband array data for optimal reception," IEEE Trans. Geosci. Electron., vol. GE-6, no. 2, pp. 78-86, May 1968.
4. J. T. Mayhan, "Thinned array configuration for use with satellite-based adaptive antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-28, pp. 846-856, Nov. 1980.
5. C. L. Dolph, "A current distribution for broadside arrays which optimizes the relationship between beamwidth and sidelobe level," Proc. IRE, vol. 34, no. 6, pp. 335-348, June 1946.
6. M. T. Ma, "Note on nonuniformly spaced arrays," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-11, no. 4, pp. 508-590, July 1963.
7. R. W. Redlich, "Iterative least squares synthesis of nonuniformly spaced linear array," IEEE Trans. on Antennas propagat., pp. 106-108, Jan. 1973.
8. H. Schjer-Jacobsen and K. Madsen, "Synthesis of nonuniformly spaced arrays using a general nonlinear minimax optimization method," IEEE Trans. Antennas Propagat., pp. 501-506, July 1976.
9. Fortran subroutines for Mathematical applications, IMSL, Inc., 1991.

▲장 병 건(Byong Kun Chang) 1951년 9월 30일생



1975년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1985년 5월: 미국 Iowa 주립대 전기공학과(공학석사)

1991년 5월: 미국 New Mexico 주립대 전기공학과(공학박사)

1990년 8월~1994년 2월: 미국 Nevada 주립대 전기공학과 조교수

1994년 3월~현재: 인천대학교 전기공학과 부교수

※주관심분야: 적응신호처리, 어레이 신호처리 및 설계

▲권 태 능(Tae Neung Kwon) 1970년 1월 18일생

1996년 2월: 인천대학교 전기공학과 졸업(학사)

1996년 3월~현재: 인천대학교 전기공학과(석사과정)

※주관심분야: 디지털 신호처리, 어레이 신호처리

▲변 윤 식

1955년 12월 16일생



1978년: 연세대 공대 전기공학과 졸업

1981년: 동 대학원 졸업(공학석사)

1985년: 동 대학원 졸업(공학박사)

1990년: 미국 Stanior드대학 전자공학과 객원연구원

현재: 시립 인천대학교 전자공학과 부교수

※주관심분야: 신호처리 및 그 응용, 디지털 통신