

# 반사음이 존재하는 양귀 모델의 음원분리에 관한 연구

## A study on sound source segregation of frequency domain binaural model with reflection

이 채 봉\*  
Chai-Bong Lee\*

### 요 약

두 개의 입력소자에 의한 음원방향 및 분리방법으로서 연산량이 적고, 음원분리 성능이 높은 주파수 양귀 모델(Frequency Domain Binaural Model : FDBM)이 있다. FDBM은 주파수 영역에서 양귀간 위상차(Interaural Phase Difference : IPD) 및 양귀간 레벨차(Interaural Level Difference : ILD)를 구하여 음향신호가 오는 방향과 음원의 분리처리를 한다. 그러나 실제 환경에서는 반사음의 문제가 되고 있다. 이러한 반사음에 의한 영향을 줄이기 위하여 선행음 효과에 의한 직접음의 음상정위를 모의하여 초기 도착음을 검출하고 직접음이 오는 방향과 음원분리 방법을 제시하였다. 제시한 방법을 이용하여 음원방향 추정 및 분리에 대한 성능을 시뮬레이션으로 검토하였다. 그 결과, 방향추정은 음원이 오는 방향에서  $\pm 10\%$ 의 범위로 집중되어 음원의 방향과 가까운 값으로 추정되었다. 반사음이 존재하는 경우의 음원분리는 기존의 FDBM에 비하여 코히런스(Coherence), 음성품질 지각평가 PESQ(Perceptual Evaluation of Speech Quality : PESQ)가 높고, 정면에서의 지향특성 감쇠량이 작아 분리의 정도가 개선됨을 나타내었다. 그러나 반사음이 존재하지 않는 경우는 분리 정도가 낮았다.

### ABSTRACT

For Sound source direction and separation method, Frequency Domain Binaural Model(FDBM) shows low computational cost and high performance for sound source separation. This method performs sound source orientation and separation by obtaining the Interaural Phase Difference(IPD) and Interaural Level Difference(ILD) in frequency domain. But the problem of reflection occurs in practical environment. To reduce this reflection, a method to simulate the sound localization of a direct sound, to detect the initial arriving sound, to check the direction of the sound, and to separate the sound is presented. Simulation results show that the direction is estimated to lie close within 10% from the sound source and, in the presence of the reflection, the level of the separation of the sound source is improved by higher Coherence and PESQ(Perceptual Evaluation of Speech Quality) and by lower directional damping than those of the existing FDBM. In case of no reflection, the degree of separation was low.

**Keywords** : Frequency Domain Binaural Model(FDBM), Sound Source Separation, Interaural Phase Difference(IPD), Interaural Level Difference(ILD), Perceptual Evaluation of Speech Quality(PESQ)

## I. 서론

음향센서에 의하여 관측되는 신호는 검출하고자 하는 목적 신호 외에 다른 환경잡음 등이 포함되어 있으며 목적신호만을 검출하는 것이 쉽지 않다. 그리고 실제 환경에 있어서는 벽면이나 장애물 등에 의한 음의 반사도 목적신호의 분석정도를 저하시키며 결과적으로 음성인식에 있어서 인식율의 저하나 목적 음이 오는 방향을 잘못 추정하는 등 많은 문제가

발생한다. 이와 같은 문제에 대하여 지금까지는 잡음제거, 음원분리에 관한 여러 가지 연구가 있었다[1~3]. 그 중에서 음원분리법의 대표적인 방법 중의 하나인 마이크로 폰 배열을 사용한 Blind Source Separation(BSS)[4]가 있다. 그러나 마이크로 폰 배열에는 음원 수가 증가함에 따라 입력수가 증가하며 연산량이 증대하는 문제점이 생긴다. 이것에 대하여 두 개 혹은 소수의 입력소자에 의한 음원방향 추정법으로서 수신신호의 시간차 추정을 기본으로 한 상호 상관법[5]이 제안되고 있다. 이 방법은 입력소자의 수신신호간의 도착 시간차를 상호 상관법을 이용하여 산출하고, 산출된 도착 시간차에서 음원이 오는 방향을 추정하는 방법이며, 두 개의 입력소자에 의해 음원방향의 추정이 가능하다. 그리고 연산량이 적고 음원분리

\* 동서대학교

이 논문은 2013년도 동서대학교의 특별연구비 지원에 의해 수행되었음.

투고 일자 : 2014. 6. 17 수정완료일자 : 2014. 7. 30

게재확정일자 : 2014. 8. 2

성능이 높은 주파수 양귀 모델(Frequency Domain Binaural Model : FDBM)이 제안되고 있다[6]. 이 FDBM은 고속 푸리에 변환을 이용한 주파수 영역에서 블록 처리로 음원방향 추정 및 음원분리 처리를 하고 있다. 이 때 주파수 영역에서 양귀간 위상차(Interaural Phase Difference : IPD) 혹은 양귀간 레벨차(Interaural Level Difference : ILD)를 구하여, 이 정보를 근거로 하여 음향신호가 오는 방향을 추정하고 음원분리 처리를 하고 있다[7~9]. 그러나 실제 환경에서 FDBM 응용하는 경우, 실내의 반사음이 문제가 된다. 반사음에는 목적신호와 동일한 주파수 성분이 포함되어 있다. 반사음이 관측신호에 포함되어 있는 경우, 양귀간 위상차 및 레벨차는 반사음의 영향을 받아 직접음의 방향을 추정하는 것이 곤란하다.

본 논문에서는 반사음에 의한 영향을 경감하기 위해 선행 음 효과 중에서도 먼저 도달한 신호가 음상정위[10]에 작용하는 초기음의 검출에 대한 처리에 착목하여 부 대역 피크 홀드 처리[11]를 한 후, 양귀 신호의 하강점을 검출하였다. 그리고 검출된 위치에 있어서 양귀간 위상차 및 레벨차를 검출하고 이것에 의해 음원방향을 추정하였다. 그리고 방향정보를 이용하여 음원분리를 하는 것에 의해 반사음을 저감하였다.

## II. 부 대역 피크 홀드에 의한 음원방향 추정법

### 2.1 음원방향 추정의 모델

그림 1은 2채널 마이크로폰 배열에 근거한 음원방향 추정법의 모델을 나타내었다. 이 모델은 음파를 평면으로 가정하고 있다. 음파의 방향으로 도착하면 음파의 경로차  $\xi$ [m/s]에 근거한 시간차  $\tau$ [s]가 생긴다. 마이크 사이의 거리를  $d$ [m], 음속을  $c$ [m/s]로 하면 시간차  $\tau$ 는 식 (1)과 같이 나타난다. 이 식을 음원방향에 대하여 나타내면 음원이 오는 방향  $\theta$ 를 식 (2)와 같이 산출할 수 있다.

$$\tau = \frac{\xi}{c} = \frac{d \sin \theta}{c} \quad (1)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{c \cdot \tau}{d} \right) \quad (2)$$

두 개의 마이크로 폰에 의한 수신신호  $x_r(n), x_l(n)$ 의 시간차를 구하기 위해서는 상호상관 함수를 이용한다. 상호상관 함수  $C(m)$ 은 식 (3)에 의해 정의되며  $C(\tau)$ 의 최대치인  $m$ 를 시간차  $\tau$ [s]의 추정치로 한다.  $N$ 는 수신신호  $x_r(n), x_l(n)$ 의 길이에 해당한다.

$$C(m) = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} x_r(n) x_l(n+m)}{x_r^2(n) \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x_l^2(n)} \quad (3)$$

상호상관 함수를 이용하여 시간차를 추정할 때 반사음의 영향이 존재하는 경우, 직접음의 시간차  $\tau$ [s] 이외에 직접음과

반사음의 시간차에 기인하는 복수의 피크가 발생하고 이것이 오류 추정의 원인이 된다. 이 영향을 감소시키기 위하여 신호의 최대치를 유지하는 피크 홀드 처리를 이용한다. 피크 홀드 처리는 직접음의 진폭값을 유지하고 후속하는 저 진폭의 반사음을 마스크하기 때문에 직접음의 시간차  $\tau$ [s]가 명확하게 된다.

입력신호의 상승시간은 각 주파수 대역마다 다른 가능성이 있으므로 입력신호를 대역분할하여 대역마다 피크 홀드 처리를 한다. 이 처리를 부 대역 피크 홀드(Sub-Band Peak Hold : SBPH)처리라고 한다. 좌우 입력신호를  $l(n), r(n)$ 이라면 시간  $n$ 를 프레임 시작점으로 푸리에 변환에 의해 입력신호 스펙트럼  $L(k,n), R(k,n)$ 을 구한다. 다음은 반사음의 영향에 의한 잘못된 추정을 줄이기 위하여 식 (4)와 같은 피크 홀드 처리를 한다.

$$\begin{cases} X_h(k,n) = |X(k,n)| \\ P_x(n) = |X_k(n)| & \text{if } |X(k,n)| \geq P_x(k,n-1) \\ X_h(k,n) = P_x(k,n-1) \\ P_x(k,n) = \alpha P_x(k,n-1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 각 스펙트럼 성분을  $X(k,n)$ , 피크 홀드값  $X_h(k,n)$ , 피크 홀드의 분계점  $P_x(k,n)$ 로 한다.  $\alpha$ 는 감쇠 계수를 나타낸다. 각 스펙트럼 성분의 절대값  $|X(k,n)|$ 이  $P_x(k,n-1)$ 보다 큰 경우는 피크 홀드 값  $X_h(k,n)$ 을  $|X(k,n)|$ 으로 하고  $P_x(k,n)$ 을  $|X(k,n)|$ 으로 한다.  $|X(k,n)|$ 이  $P_x(k,n)$ 보다도 작은 경우는  $X_h(k,n)$ 을  $P_x(k,n-1)$ 로 한다.

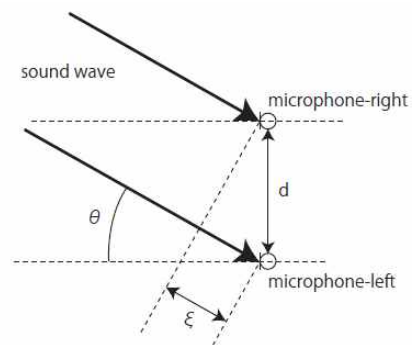


그림 1. 음원방향 추정 모델

Fig. 1. Estimated method of sound source direction

### 2.2 음원추정 방법

그림 2는 부 대역 피크 홀드 처리를 이용한 음원방향 추정 방법을 나타내었다. 비 음성 환경 잡음 영향을 줄이거나 무음성 시의 대수 처리에 의한 오차의 영향을 줄이기 위하여 음원방향 추정의 전 처리로서 음성 구간 검출처리(Voice Activity Detection : VAD)를 하였다. VAD는 정상 잡음에 대한 검출법으로서 확률 모델에 근거한 방법을 이용한 돌발성

잡음에 대한 검출법이다.

프레임마다 처리를 하며 최초 프레임은 0으로 한다. 수신신호를 개의 값을 가진 좌우 이산신호  $(n), r(n)$ 이라 하면 이 수신신호를 음성 구간검출(VAD)에 의해 음성신호를 추출하고, 단시간 푸리에 변환하는 것에 의해  $M$ 개의 주파수 성분을 가진 진폭성분의 시간 계열  $L(k,n), R(k,n)$  ( $k=0,1,\dots,M-1$ )을 출력한다. 그리고 주파수 성분마다 피크 홀드를 하고 홀드된 신호인  $L_h(k,n), R_h(k,n)$ 을 얻는다. 대수와 차분 후의 신호  $L_p(k,n), R_p(k,n)$ 에 대응하는 주파수 성분마다 상호상관 함수  $C_k(\tau)$ 를 구해서 가산함으로서 상호상관 함수  $C(\tau)$ 가 식 (5)와 같이 구하여 진다.

$$C(\tau) = \sum_{k=0}^{-1} C(k, \tau) \quad (5)$$

$C(\tau)$ 가 최대값을 갖는  $\tau$ 를 시간차의 추정값으로 하고 식 (2)에 의해 음원이 오는 방향  $\theta$ 를 추정한다. 이와 같은 방법을 부 대역 피크 홀드법이라고 한다.

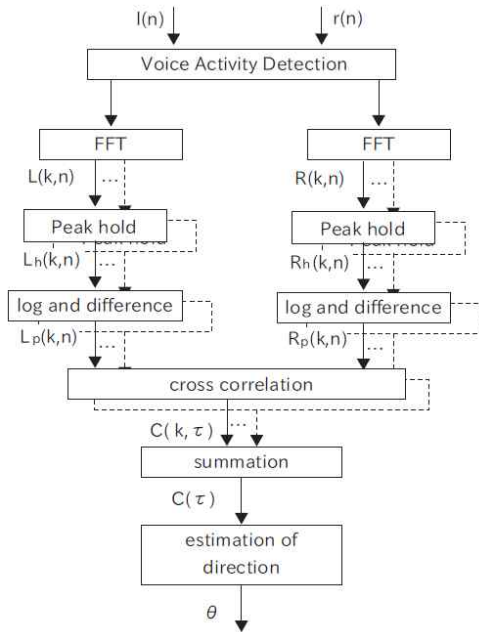


그림 2. 부 대역 피크 홀드 처리를 이용한 음원 추정 방법  
Fig. 2. Estimated method of sound source direction with sub-band peak hold process

### III. 직접음의 방향정보를 이용한 음원분리

본 장에서는 초기에 도달하는 음의 검출에 근거하여 직접음이 오는 방향추정 및 음원분리 방법을 제안한다. 방법으로는 입력신호를 푸리에 변환에 의해 대역 분할하여 식 (4)와

같은 피크 홀드 처리 및 상승 검출을 이용하여 직접음만의 구간을 검출한다. 검출된 직접음의 구간에 있어서 IPD 및 ILD를 구하여, 방향추정 및 피크 홀드 값에 따라 추정각도를 유지하고 유지각도에서 음원분리를 한다.

그림 3에서는 제안방법의 개요를 나타내었다. 선행음 효과에 의한 직접음의 음상정위를 모의하기 위하여 피크 홀드 처리를 한 신호에 대하여 상승검출을 이용함으로써 직접음을 검출하고 상승이 검출된 점에 있어서 방향추정을 한다. 상승검출에 관해서는 신호의 진폭값이 분계점을 넘은 점을 하강으로 한다. 그러나 입력신호가 음성인 경우 상승시각이 대역마다 달라 시간과형상에서는 각 대역의 직접음 성분이 시간적으로 분산한다. 상승검출에 의해 직접음을 따라 잡을 수가 없으므로 수신신호를 푸리에 변환에 의해 대역분할하여 분할된 스펙트럼에 대하여 상승검출을 함으로서 직접음을 검출한다. 프레임을 길게 하면 직접음이 보이지 않고 반사음의 성분이 포함될 가능성이 있으므로 본 논문에서는 방향추정에 있어서 프레임의 길이를 128 샘플(8ms)로 하였다.

상승검출보다 하강검출이 검출된 프레임에 있어서는 IPD 및 ILD를 구하여 미리 얻은 데이터 베이스와 비교함으로써 음원의 방향을 추정한다. 그리고 상승이 검출되지 않은 프레임에 대해서는 피크 홀드 값을 참조하여 그 값이 분계점 이상에 있는 경우는 선행음 효과에 의해 직접음의 음상정위를 모의하여 앞의 프레임의 추정각도를 유지한다.

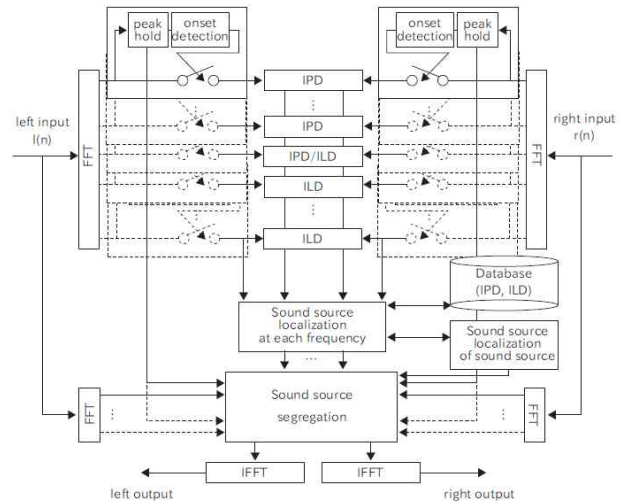


그림 3. 제안 방법의 개요도  
Fig. 3. Block diagram of proposed method

관측된 방향정보를 이용하여 음원분리를 한다. 여기서 음원분리는 입력 음성신호의 분석정도를 높여, 보다 자세한 주파수 분해능을 얻기 위해서는 방향추정 시, 이용한 프레임 길이보다 긴 프레임을 이용한다. 여기서 프레임 길이를 512 샘플(32ms)로 하였다. 그러나 긴 프레임을 이용하는 것에 의해

서 주파수 분해능이 높고, 시간 분해능이 낮게 되므로 방향정보를 그대로 이용하기 어렵다. 따라서 128 샘플의 데이터에서 얻은 방향정보를 512 샘플 데이터로 이용하도록 변환을 한다. 그림 4는 변환 과정을 나타내었다. 128 샘플의 데이터에서 얻은 방향정보의 시간에 대한 표시를  $(n=0,1,2,\dots)$ , 주파수에 대한 표시를  $k(k=0,1,2,\dots,128)$ 로 하면 512 샘플 데이터에 있어서 시간에 대한 표시를  $m(m=0,1,2,\dots)$ , 주파수에 대한 표시를  $l(l=0,1,2,\dots,512)$ 로 한다. 이때 512 샘플 데이터에 있어 시간 표시  $m$ 에 대하여 128 샘플 데이터에 있는 시간 표시는  $n \sim n+3$ 이 대응하고 128 샘플 데이터의 주파수 표시는  $l \sim l+3$ 이 대응한다. 처리는 시간 표시  $m$ 에 따라 행한다. 128 샘플 데이터에는 추정된 각도정보, 512 샘플의 데이터에는 진폭값이 격납되어 있다. 512 샘플 데이터의 시간에 대한 표시가  $m$ 인 경우, 128 샘플 데이터의  $n \sim n+3$  프레임 중 각도정보가 유지되는 주파수 표시를 검색한다. 각도정보가 유지된 주파수 표시  $k$ 가 존재하는 경우, 512 샘플의 주파수에 대한 표시  $l \sim l+3$ 의 데이터에 있어 신호의 유무를 검출한다. 신호의 유무에 대해서는 진폭값이 분계점을 넘은 것을 신호가 존재하는 것으로 하고 신호가 존재한 주파수 표시의 각도정보에 대응하는 128 샘플의 각도정보를 격납한다. 변환된 각도정보를 이용하여 FDBM과 마찬가지로 동시에 신호분리 프레임을 구해 입력신호 스펙트럼과 신호분리 필터에서 역푸리에 변환을 하여 분리신호를 얻는다.

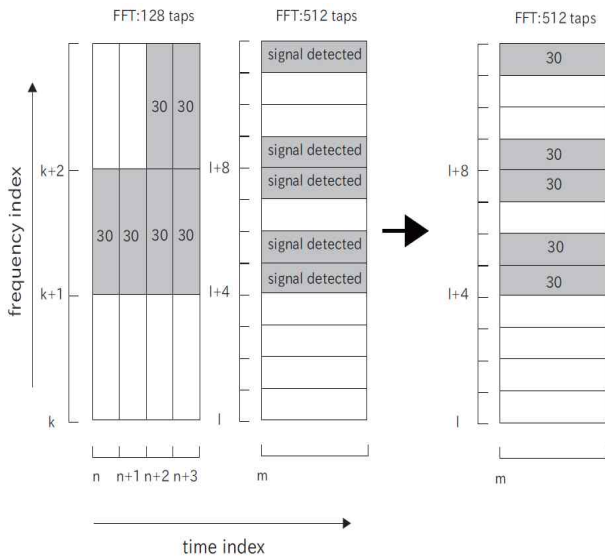


그림 4. 방향정보의 변환처리

Fig. 4. Transformed process of direction information

#### IV. 시뮬레이션 및 고찰

##### 4.1 방향추정 시뮬레이션

입력신호는 샘플링 주파수 16kHz로 여성의 음성을 이용하였다. 음원은 정면으로 하였으며 방위각은 정면을  $0^\circ$ , 좌측을 정, 우측을 부로 나타내었다. 음원은 그림 5와 같이 청취

자의 정면에 1.4m에 두었으며 청취자의 오른쪽으로 1.5m, 왼쪽으로 2.5m 위치에 반사계수가 0.9인 것으로 설정하였다. 기존의 FDBM에 의한 방향추정의 시뮬레이션 결과는 그림 6, 그림 7과 같다. 주파수 변환 프레임 길이는 512 taps로 하고 이때 주파수 분해능은 31Hz, 시간 분해능은 32ms로 두었다. 그림 5는 반사음이 존재하지 않는 경우이며, 그림 6은 반사음이 존재하는 경우이다. 그림 중에 +는 각 프레임에서 추정된 음원의 방향을 나타내고 있다. 그림 6에서는 각 프레임에 있어서 추정방향이 거의  $0^\circ$ 로 나타나고 있어 반사음이 존재하지 않는 경우는 정확한 추정이 되었는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 7과 같이 반사음이 존재하는 경우는 추정각도가 넓은 범위로 분포되어 있어 추정정도가 저하되고 있음을 알 수 있다.

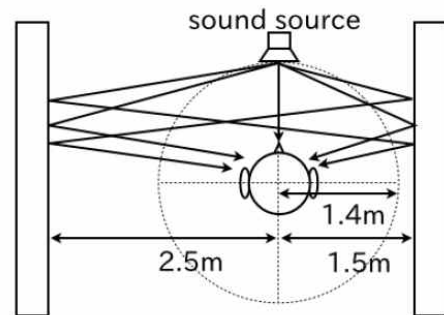


그림 5. 시뮬레이션 방법

Fig. 5. Simulation method

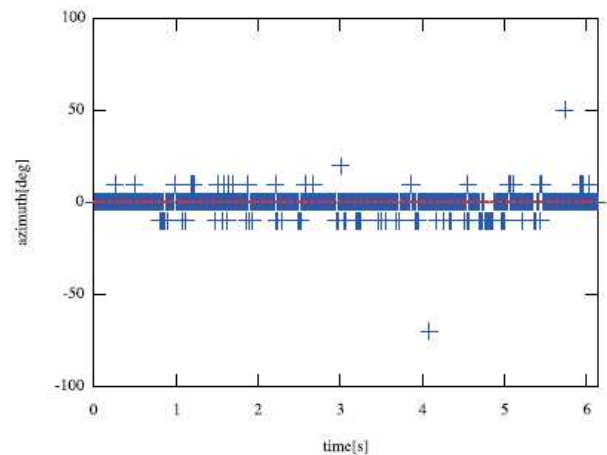


그림 6. 반사음이 없는 경우의 방향추정 결과

Fig. 6. Result of estimated direction without reflection

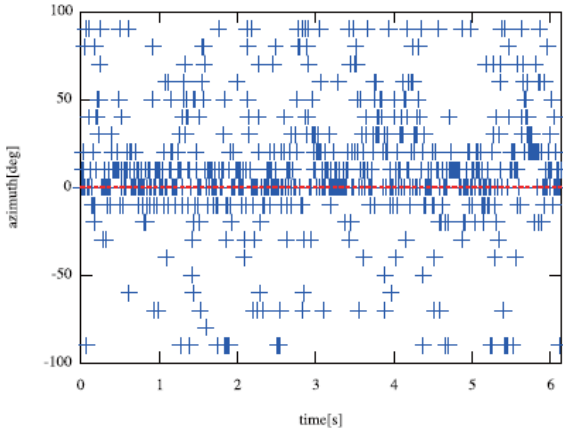


그림 7. 반사음이 있는 경우 방향추정 결과  
Fig. 7. Result of estimated direction with reflection

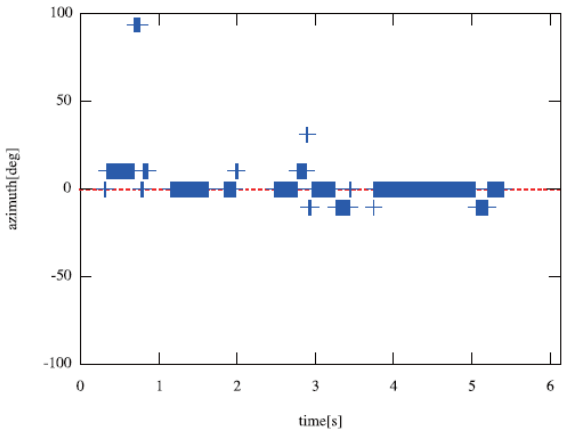


그림 8. 제안방법에 의한 방향추정 결과  
Fig. 8. Result of estimated direction with proposed method

반사음이 존재하는 경우에 제안방법을 이용한 방향추정 결과는 그림 8과 같다. 주파수 변환 프레임 길이는 128 taps로 하고, 이때 주파수 분해능은 125Hz, 시간 분해능은 8ms로 두었다. 그림에서 방향추정 결과는 음원이 오는 방향에서  $\pm 10^\circ$ 의 범위에 집중되고 있음을 알 수 있으며, 제안방법에 의하여 개선됨을 나타내고 있다.

4.2 음원분리 시뮬레이션

시뮬레이션 조건은 앞 절과 같으며 FDBM 및 제안방법의 음원분리 성능평가는 코히런스, 음성품질 지각평가(Perceptual Evaluation of Speech Quality : PESQ)와 Quality(PESQ)[12] 및 수평면의 각 방위각에 의한 지향특성으로 하였다[13]. 표 1은 음원의 위치를 청취자 정면으로 하였을 때 신호에 대한 코히런스 및 PESQ를 나타내었다. 반사음의 유무에 대한 FDBM과 반사음이 있는 경우에 대한 제안방법의 값을 나타내었다. 표 1에 의해 반사음이 존재하는 경우 FDBM에 의한 코히런스, PESQ는 반사음이 없는 경우에 비하여 낮고, 정도가 떨어짐을

알 수 있다. 반사음이 존재하는 경우, 제안방법에 의한 코히런스 및 PESQ는 반사음이 존재하는 FDBM에 비하여 높다. 따라서 제안방법에 의해 반사음이 존재하는 경우의 분리정도가 개선되었음을 알 수 있다.

표 1. 입력신호에 대한 코히런스 및 PESQ  
Table 1. Coherence and PESQ on input signal

	Coherence	FESQ
FDBM(direct)	0.99	4.36
FDBM(reverb)	0.88	3.68
제안방법(proposed)	0.95	3.97

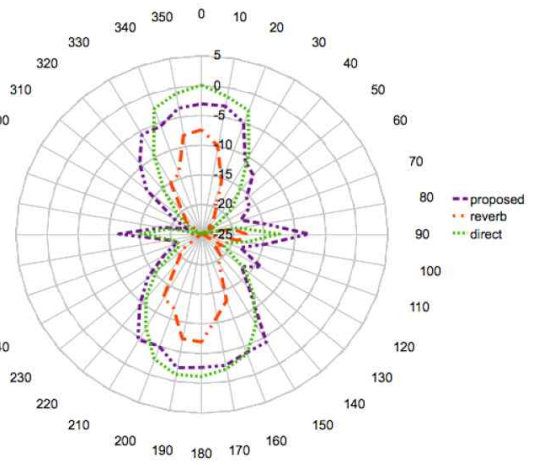


그림 9. 지향특성  
Fig. 9. Directivity diagram

그림 9는 지향특성을 나타내고 있으며 반사음이 존재하지 않는 경우의 정면방향인 0° 방향의 이득을 0dB로 하고, 방위 각-180° 에서 180° 까지의 분리신호의 감쇠량을 나타내었다. 여기서 반사음이 없는 경우 FDBM 신호(direct), 반사음이 있는 경우 FDBM 신호(reverb)로 표시하고 제안방법에 의한 신호(proposed)를 표시하였다. 그림에서 direct는 -20° 에서 20°의 범위에서는 감쇠량이 작고 그 외의 방향의 분리신호는 크게 감쇠하고 있다. reverb는 -20° 에서 20°의 범위에서는 분리신호는 크게 감쇠하고 있으며 분리신호도 감쇠하고 있다. 제안방법에 대해서는 -20° 에서 20°의 범위에서는 감쇠가 작고, 분리신호도 FDBM에 비하여 정도가 개선됨을 알 수 있다.

V. 결론

FDBM이 반사음이 존재하는 환경하에서는 음원분리의 정도 저하하는 문제점에 대하여 선행음 효과에 의한 음상정위를 모의하고 초기에 도달하는 음의 검출에 근거하여 직접음이



도달하는 방향추정과 음원분리 방법을 제안하였다. 제안방법에 의한 음원방향 추정 및 분리의 성능을 시뮬레이션을 통하여 검토하였다. 방향추정 시뮬레이션에서는 방향추정 결과는 음원이 오는 방향에서  $\pm 10^\circ$  의 범위내에서 집중하고 있어 음원이 오는 방향에 가까운 값을 추정하였다. 음원분리 시뮬레이션 결과에서는 제안방법에 의한 음원분리는 기존의 FDBM에 비하여 코히런스 및 PESQ가 높고, 수평면의 각 방위각의 이득은 정면에서 감쇠량이 적고, 분리정도가 개선됨이 확인되었다.

### 참고 문헌

[1] Markus Bodden, "Modeling human sound-source localization and the cocktail-party-effect," Acta Acoustica, 1, pp. 43-55, 1993.

[2] W. Lindemann, "Extension of a binaural cross-correlation model by contralateral inhibition. I. Simulation of lateralization for stationary signals," J. Acoust. Soc. Am., 80(6), pp. 1608-1622, 1986.

[3] W. Lindemann, "Extension of a binaural cross-correlation model by contralateral inhibition. II. The low of the first wave front," J. Acoust. Soc. Am., 80(6), pp. 1623-1630, 1986.

[4] Shoji Makino, Hirosh Sawada, Ryo Mukai and Sho Araki, "Blind Source Separation of Convolutional Mixtures of Speech in Frequency Domain," IEICE Trans. Fundamentals, E88-A, pp. 1640-1655, 2005.

[5] C.H. Knapp and G.C. Carter, "The generalized correlation method for estimation of time delay," IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process., ASSP-24, pp. 320-327, 1976.

[6] H. Nakashima, N. Sato, T. Nakanishi, T. Usagawa and M. Ebata, "Speech Signal Enhancement Based on the Frequency Domain Binaural Model," Proc. Internoise 2003, N562, pp. 1486-1492, 2003.

[7] H. Nakashima, T. Usagawa, "Frequency domain binaural model based on interaural phase and level difference," Acoustical Science & Technology Vol. 24, No. 4, pp. 172-178, 2003.

[8] Y. Chisaki, S. Kawano, K. Nagata, K. Mastuo, "Azimuthal and elevation location of two sound sources using interaural phase and level difference," Acoustical Science & Technology, Vol. 29, No. 2, pp. 139-148, 2008.

[9] 이채봉, "FDBM의 음원분리 성능평가," 한국전자통신학회, Vol. 8, No. 12, pp. 1793-1801, 2013.

[10] 채종덕, 이채봉, "반사음이 음상정위에 미치는 영향," 2013하계학술대회 논문집, 한국신호처리 시스템학회, pp. 8-10, 2013.

[11] Suzuki, Kaneta, "The estimated method of sound source direction with sub-band peak hold process," JASA, Vol.

65, No. 10, pp. 513-522, 2009.

[12] ITU-T Recommendation, "Perceptual Evaluation of Speech Quality(PESQ) : An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codes," pp. 862, 2001.

[13] Lado Kakuhari, Hiroyuki Hashimoto, Kenichi Terai, "Development of a loudspeaker system with a unidirectional radiation pattern in a speech frequency range," Proc. 106th Convention of Audio Engineering Society, #4867, 1999.

이 채 봉 (Chai-bong Lee)



正會員

1985년 동아대학교 전자공학(공학사)

1988년 일본 동북대학 전기 및 통신 전공 (공학박사)

1992년 일본 동북대학 전기 및 통신 전공 (공학박사)

1993년 ~ 현재 동서대학교 전자공학과 교수

※주관심분야 : 음향공학, 청각심리, 디지털 신호처리