

## Directional Filter와 Harmonic Filter 기반 화자 분리

Speaker Separation Based on Directional Filter and Harmonic Filter

백 승 은\* · 김 진 영\* · 나 승 유\* · 최 승 호\*\*

Seung-Eun Baek · Jin-Young Kim · Seung-You Na · Seung-Ho Choi

### ABSTRACT

Automatic speech recognition is much more difficult in real world. Speech recognition according to SIR (Signal to Interface Ratio) is difficult in situations in which noise of surrounding environment and multi-speaker exists. Therefore, study on main speaker's voice extractions a very important field in speech signal processing in binaural sound. In this paper, we used directional filter and harmonic filter among other existing methods to extract the main speaker's information in binaural sound. The main speaker's voice was extracted using directional filter, and other remaining speaker's information was removed using harmonic filter through main speaker's pitch detection. As a result, voice of the main speaker was enhanced.

**Keywords:** SIR, directional filter, harmonic filter

### 1. Introduction

다중 화자로부터 유효한 주화자의 음성 데이터를 추출하는 것은 음성 인식분야에서 중요하다. 주위의 많은 잡음으로 이루어진 실생활 환경에서 필요한 음성을 추출하여 인식하는 것은 많은 어려움이 있다. 일반적으로 현재의 음성 분리 기술은 마이크로폰 배열을 이용한 방법, 사람 청각 시스템을 기반의 계산적 청각 분석 기술, blind source separation 과 같은 독립적인 성분 분석 기술, auditory epipolar geometry를 이용한 ADPF 등 다양한 기술들이 있다[2]. 음성 분리를 위해서는 정확한 주화자의 피치 검출이 필요한데, 현재의 피치 검출은 한 화자의 음성이 존재하는 환경에서 주로 검출을 하게 된다. 그러나 실제 환경에서는 여러 명의 화자가 존재하므로, 한 화자의 음성만 존재하는 환경을 가정한 피치 검출은 잘못된 결과를 도출할 수 있다[9]. 그러므로 바이노럴 사운드에서 주화자의 음성 추출에 대한 연구는 음성 신호 처리에 있어서 매우 중요한 분야이다. 피치 검출 방법은 한 화자의 음성에 다른 화자의 음성이 섞인 바이노럴 사운드의 상황에서는 SIR(Signal to Interface Ratio)에 따라 두 화자 중 한 사람의 피치도 정확한 검출이 힘들다[9]. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 귀 모델을 이용하여 바이노럴 사운드에서의 화자의 DOA(Direction

---

\* 전남대학교 전자정보통신공학과

\*\* 동신대학교 멀티미디어학부

of Arrival)를 추정하며, 이를 바탕으로 지향성 필터(directional filter)를 이용하여 두 화자 중 한 사람의 음성 데이터를 추출하여 얻는다. 하지만 이 단계에서는 아직 다른 화자의 음성 정보도 포함되어 있기 때문에 주화자의 피치 검출을 한 후 하모닉 필터(harmonic filter)를 함께 사용하여 좀 더 개선된 결과를 얻을 수 있는지를 살펴보았다.

본 연구에서는 우선 동시에 발생한 두 사람의 음성 신호에서 가장 가능성이 높은 한 사람의 음성 신호를 추출하는데 목적을 둔다. 본 논문의 구성은 먼저 2 장에서는 사용된 분리 알고리즘에 대하여 설명하고, 3 장에서는 설명한 알고리즘을 이용하여 수행한 실험 내용 및 그 결과를 보여주고, 마지막으로 4 장에서 결론을 맺는다.

## 2. Two Speaker Separation Algorithm

이 논문에서 사용된 분리 알고리즘은 크게 두 부분으로 나뉜다. 첫 번째는 주화자의 DOA를 추정하여 바이노럴 사운드에서 주화자의 음성을 추출하는 지향성 필터부분과, 두 번째는 주화자의 피치 검출을 통한 하모닉 필터방법으로 주화자의 음성을 개선하는 부분으로 구성되어 있다. <그림 1>은 전체적인 분리 알고리즘의 블록다이어그램을 나타내고 있다.

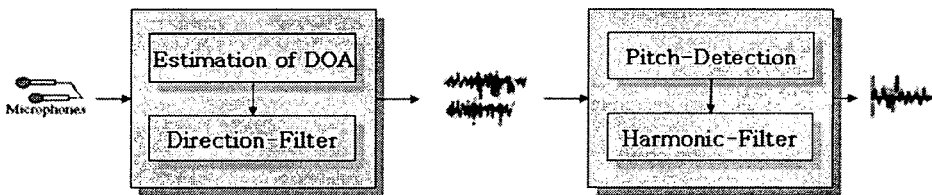


Figure 1. Block diagram for two speaker separation algorithm

### 2.1 Directional Filter

지향성 필터는 이전 단계로서 DOA 추정 단계가 있다. DOA 추정은 귀 모델링을 바탕으로 한다. 인간의 귀는 심한 잡음이 섞여있거나 혹은 피치가 비정상적으로 변화하는 경우에도 정확히 음성을 인식한다. 심지어 여러 사람이 동시에 말하는 상황에서도 인식이 가능하다. 따라서 귀 모델을 사용한다면 이러한 장점을 이용하여 바이노럴 사운드에서의 음성 분석이 가능할 것이며, 이를 토대로 주화자의 음성 분리에 이용하였다. 이 논문에서 사용된 귀 모델은 'HUTear Matlab ToolBox version2.0'을 이용하였다[3]. 이렇게 추정된 주화자의 DOA는 지향성 필터의 중요 parameter로 사용된다. <그림 2>는 지향성 필터의 블록 다이어그램이다.

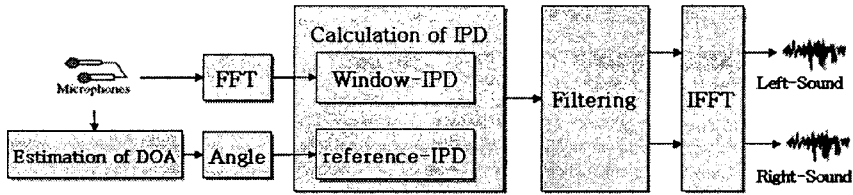


Figure 2. Block diagram for directional filter

지향성 필터는 auditory epipolar geometry를 기반으로 한다. 지향성 필터는 먼저 IPD(interaural phase difference)를 구하는데, 입력 신호를 기반으로 계산된 IPD와 청각 모델에 의해 추정된 DOA를 기반으로 계산된 IPD를 구하여 이 두 IPD의 차가 일정 임계치 이하의 값일 경우만 주화자의 음성으로 간주하고 추출하는 원리를 이용하였다[2].

IPD는 식 1을 이용하여 구한다.  $S_p^{(r)}$  과  $S_p^{(l)}$ 은 FFT의 의해 얻어진 좌·우 채널의 스펙트럼을 나타내고,  $\Re[S_p]$ 와  $\Im[S_p]$ 는  $S_p$  스펙트럼의 실수부와 허수부를 나타낸다.  $f_p$ 는 스펙트럼의 피크 주파수이다.

$$\Delta\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{\Im[S_p^{(r)}(f_p)]}{\Re[S_p^{(r)}(f_p)]}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\Im[S_p^{(l)}(f_p)]}{\Re[S_p^{(l)}(f_p)]}\right) \quad (1)$$

$\theta$ 는 다음 식에 의해서 계산된다.

$$\cos \theta = \frac{v}{2\pi f_p b} \Delta\varphi \quad (2)$$

$v$ 는 소리의 속도를 나타내며 340 m/sec를 사용하였다.  $b$ 는 마이크론 사이의 거리를 나타내며 20 cm이다[5][10]. 식 1에 의해서 구해진 IPD는 앞서 언급한 조건을 만족하는 경우에 주화자의 음성으로 간주하고 추출하였다.

<그림 3>은 입력 신호와 지향성 필터를 적용 시킨 후 추출된 신호의 일부를 보여주고 있다. 그림에서 보여주는 것과 같이 추정된 DOA를 기준으로 IPD를 비교하여 주화자의 음성 부분만 추출하는 방법을 사용한다. 실선은 원 신호를 점선은 주화자의 음성 데이터로 추출된 신호이다.

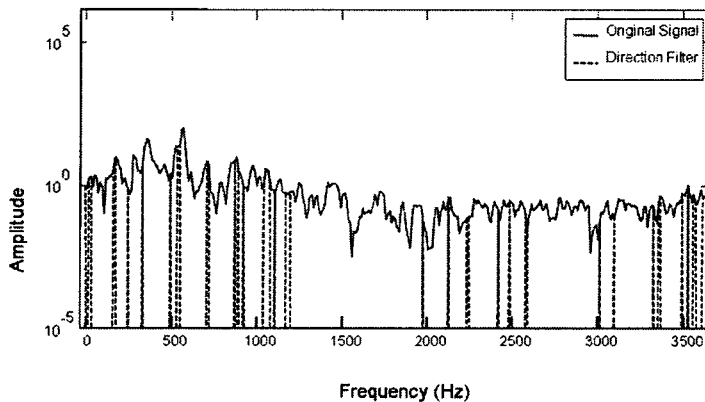


Figure 3. 원 신호와 지향성 필터 후 추출된 신호

## 2.2 Harmonic Filter

### 1) Pitch Detection

피치 검출 방법에는 시간 영역, 주파수 영역, 또는 시간-주파수 영역으로 구분 할 수 있다. 시간 영역 검출 방법은 파형의 주기성을 강조한 후에 결정 논리에 의해 피치를 검출하는 방법으로 병렬 처리법, 자기상관법(Autocorrelation), 상호상관법(Cross-correlation), AMDF, ACM 등이 있다. 주파수 영역의 검출 방법은 음성 스펙트럼의 고주파 간격을 측정하여 유성음의 기본 주파수를 검출하는 방법으로 고주파분석법, Lifter법, Comb-filtering, HPS(Harmonic Product Spectrum) 등이 있다[7][8].

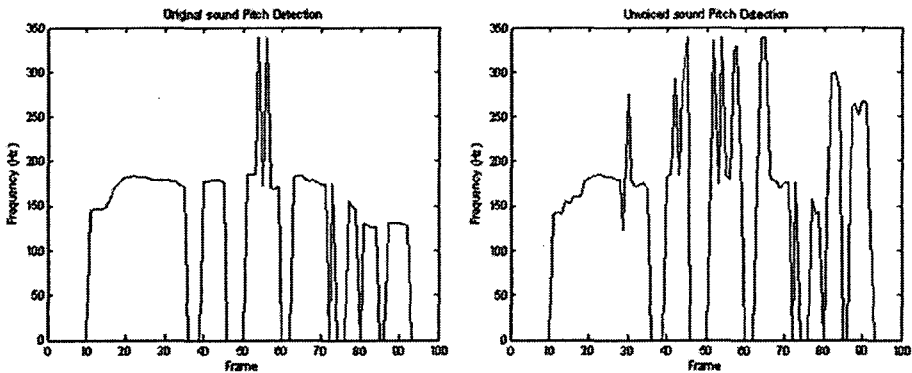


Figure 4. 원 신호와 하모닉 성분을 제외한 부분의 피치 검출

<그림 4>는 지향성 필터에 의해 추출된 남자 음성을 입력 신호로 해서 얻어진 피치 검출 결과와 하모닉 필터 중 유·무성음성분 분해의 결과로 얻어진 하모닉 성분을 제외한 무성음 신호를 피치 검출하여 얻어진 결과를 보여준다. 피치검출에 사용된 방법은 상호상관법(cross-correlation)을 이용하였다. 첫 번째 그림에서는 에러는 있지만 남자 음성을 잘 찾아가는 것을 알 수 있다. 두 번째 그림에서는 남자 음성 성분을 제거한 신호에서 피치 값을 찾은 것으로 지향성 필터에 의해 추출 당시 남아 있던 여자 음성 성분의 피치 정보를 보여주고 있다. 이 결과에서 보여주는 것 같이 추출된 남자 음성에 여자 음성 정보가 여전히 남아 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 점에서 하모닉 필터를 사용하여 주화자의 음성의 개선이 필요하다.

지향성 필터에 의해 구해진 음성에서 주화자의 피치를 검출한 후, 검출된 피치를 바탕으로 하모닉 필터를 적용하여 음질 개선 여부를 실험하였다. 하모닉 필터로는 simple harmonic filter와 유·무성음 분해(voiced/unvoiced decomposition) 두 경우로 실험하였다.

### 2) Simple Harmonic Filter

Simple harmonic filter(SHF)는 하모닉 필터를 단순화한 것이다. 이론적인 하모닉 필터(유·무성음 분해)보다 계산량이 적어 빠른 속도가 특징이다.

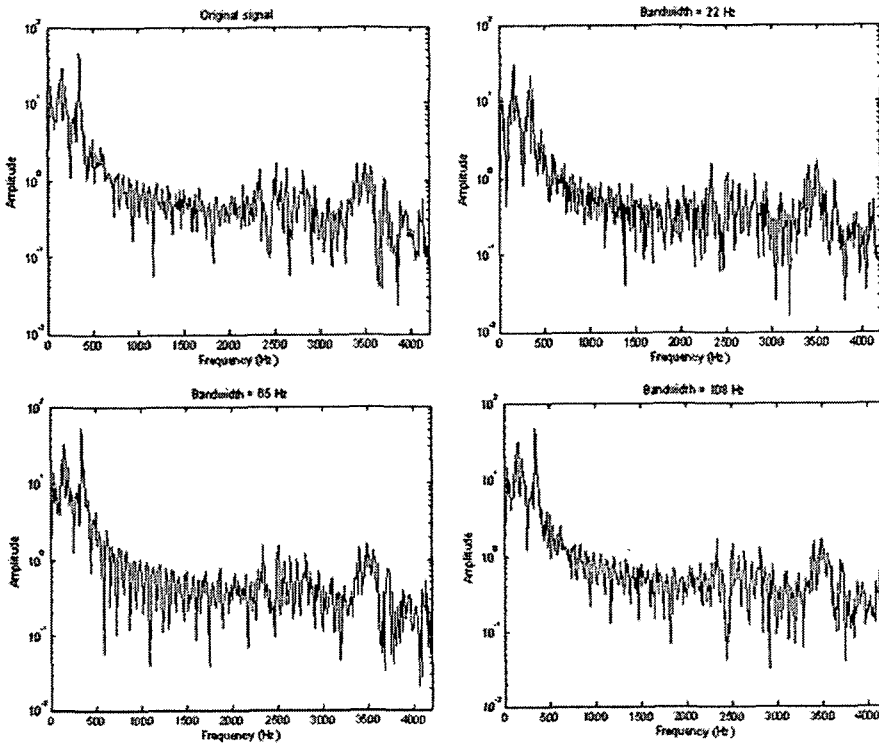


Figure 5. Simple harmonic filter에서 대역폭에 따른 결과  
(왼 쪽 첫 그림부터 시계 방향으로 입력 신호와 22 Hz, 108 Hz, 65 Hz 일 때.)

SHF는 구해진 주화자의 피치를 기준으로 좌우 대칭적으로 일정 대역폭의 하모닉 성분만 주화자의 음성 데이터로 간주하여 추출하는 방법을 사용하였다. <그림 5>는 대역폭에 따른 simple harmonic filter의 결과를 보여주고 있다. 피치 값을 기준으로 좌우 대칭으로 각각 108 Hz, 65 Hz, 22 Hz의 하모닉 성분만 주화자의 음성으로 간주하여 얻은 결과를 나타낸다. 입력 신호는 지향성 필터에 의해 추출되었던 남자 음성을 사용하였다. 그림에서 보는 것 같이 대역폭이 108 Hz일 때 원 신호와 가장 잘 일치하는 결과를 보여주고 있다. 이 결과를 토대로 simple harmonic filter의 대역폭은 108 Hz에서 실험하였다.

### 3) Voiced/Unvoiced Decomposition

유성음·무성음 분해는 Simple harmonic filter보다 계산량이 많아서 속도가 늦다는 단점을 가지고 있지만, 이론적인 접근방법을 사용하여 좀 더 정확한 결과를 얻을 수 있다. 음성은 유성음 성분(harmonic component)과 무성음성분(non-harmonic component)의 합성으로 모델링할 수 있는데, 유성음·무성음 분해는 입력 음성 신호에서 이 무성음 성분을 빼내어 유성음 성분만 남기어 추출하는 방법을 사용하였다.

유성음·무성음 분해는, 먼저 입력 음성 신호의 피치를 구해서 기본 주파수를 구한다.

기본 주파수는 다음 식을 이용하여 얻을 수 있다.

$$\omega_0 = \arg \min_{\omega} Q(\omega; B(\omega))$$

$$Q(\omega_0; B(\omega)) = \frac{\sum_{m=-M}^M \int_{-\pi}^{\pi} |B(\omega)|^2 S_w(\omega) W^*(\omega - m\omega_0) d\omega}{\int_{-\pi}^{\pi} |B(\omega) W(\omega - m\omega_0)| d\omega} \quad (3)$$

$B(\omega)$ ,  $S_w(\omega)$ ,  $W(\omega)$ 는 선형 예측계수  $\{b_i\}_{i=0}^p$ ,  $s_w[n]$ ,  $w[n]$ 의 Fourier 변환이다. 첨자  $w$ 는 윈도우 함수  $w[n]$ 에 의해서 구해지는 한 구간을 나타낸다.

식 4를 이용하여 하모닉 성분의 진폭을 구한다.

$$A_m = \frac{\int_{-\pi}^{\pi} |B(\omega)|^2 S_w(\omega) W^*(\omega - m\omega_0) d\omega}{\int_{-\pi}^{\pi} |B(\omega) W(\omega - m\omega_0)| d\omega} \quad (4)$$

식 3과 4에 의해 구해진 기본 주파수와 진폭을 바탕으로 유성음 성분을 추정한다. 유성음 성분은 주기성을 띤 성분으로 조정된 사인곡선의 합으로 표현된다. 유성음 성분  $v_w[n]$ 은 수학적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다[4][6].

$$v_w[n] = \sum_{m=-M}^M A_m e^{j\omega_0 mn} W[n], \quad M = \left\lfloor \frac{\pi}{\omega_0} \right\rfloor \quad (5)$$

$A_m$  과  $\omega_0$ 는  $m$  번째 하모닉의 진폭과 기본 주파수를 나타낸다. 유성음 성분이 구해지면, 원 신호에서 유성음 성분을 제외한 무성음 성분을 구한다. 구해진 무성음 성분을 바탕으로 앞의 과정을 반복한다. 반복 과정을 통하여 개선된 유성음 성분을 얻는다.

<그림 6>은 지향성 필터에서 추출된 남자 음성 데이터를 입력 signal로 하여 얻어진 voiced/unvoiced decomposition의 결과 데이터이다. 위쪽 첫 번째 그림은 입력된 original signal이고, 왼쪽 아래 그림은 입력 신호에 대한 무성음 성분(unvoiced component)을, 오른쪽 그림은 유성음 성분(voiced component)을 나타낸다.

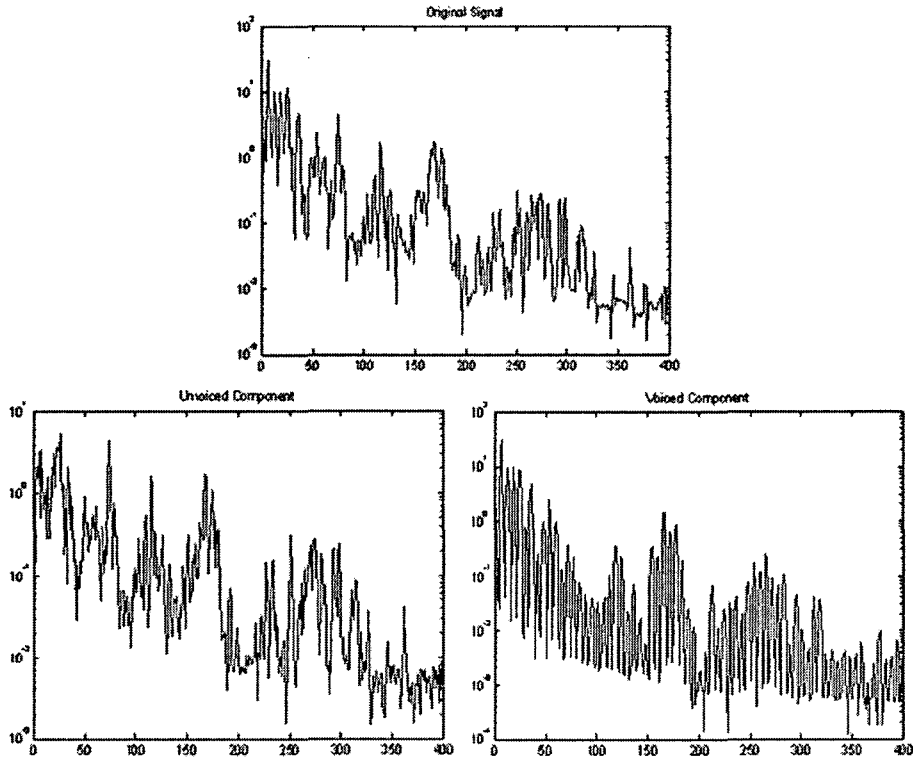


Figure 6. 유성음성분과 무성음 성분 분해의 결과 스펙트럼

### 3. Experimental Results

본 논문의 목적은 2장에서 설명한 분리 알고리즘을 이용하여 다중 화자 중에서 주 화자의 음성을 추출해 내는데 있다. 실험 1과 실험 2에 사용할 음성 데이터로 50°와 130°에 각각 위치한 여자와 남자가 동시에 발성한 데이터 3쌍을 이용하였다. 사용된 음성 데이터는 44.1 kHz의 주파수로 샘플링하여 얻었다. 실험에 사용한 set은 다음과 같다.

Set 1 : 130°(남자)와 50°(여자)에 위치하고, 같은 문장을 발성.

Set 2 : 130°(여자)와 50°(남자)에 위치하고, 같은 문장을 발성.

Set 3 : 130°(남자)와 50°(여자)에 위치하고, 다른 문장을 발성.

실험은 3가지에 관하여 이루어 졌다. 첫 번째 실험은 귀 모델링과 지향성 필터를 적용하여 음성을 추출하는 실험이고, 두 번째는 추출된 음성의 피치를 검출하여 하모닉 필터인 simple harmonic filter와 V/U decomposition 두 가지 방법으로 추출된 음성을 개선하는 실험을 하였다. 마지막으로 두 화자의 위치에 따른 분리 알고리즘의 성능 비교에 관한 실험을 하였다.

### 3.1 Directional Filter를 이용한 음성 추출

바이노럴 사운드 데이터를 귀모델(HUTear Matlab toolbox)을 이용하여 주화자의 DOA(direction of arrival)를 추정한다. 추정결과는 평균 132°를 얻었다. 각각의 데이터의 추정 DOA를 바탕으로 지향성 필터를 사용하여 음성을 추출하였다. Window size 는 4096이고, hamming window를 사용하였다. 실험 결과는 다수의 사람들에게 얻어진 음성을 가지고 분리 여부를 설문 조사하였다. 먼저 추출된 음성을 들려주고 문장 제대로 인식할 수 있는지 알아보았다. 모든 실험 평가자들이 문장을 제대로 인식하였다. 다음은 원래 음성(남자와 여자 모두 존재하는 음성)과 비교해 어느 정도 분리 되었는지 설문에 체크하도록 하였다. 모두 다섯 단계로 답하게 되었다(1: 전혀 분리되지 않음, 2: 약간 분리되었음, 3: 절반 정도 분리되었음, 4: 거의 분리되었음, 5: 완전히 분리되었음).

Table 1. 추출된 음성과 원 신호의 설문 결과

평가자 Data	A	B	C	D	E
Set1	3	4	4	3	3
Set2	3	3	4	3	4
Set3	4	4	3	4	3

설문 결과를 보면, 남자 음성 분리가 되었지만 명확하진 않지만 여자 음성 성분이 남아 있다고 볼 수 있다.

### 3.2 Harmonic Filter를 이용한 음성 개선

#### 1) Simple Harmonic Filter

입력 신호는 지향성 필터에 의해 얻어진 주 화자 추출 신호를 사용했다. 피치검출은 cross-correlation방법을 사용하였고, 90 Hz ~ 340 Hz 사이에서 피치 값을 결정했다. Window size는 2048 이고, hamming window를 사용했으며, 대역폭은 108 Hz를 사용했다. 실험 결과는 다수의 사람들에게 얻어진 음성을 가지고 원래 음성과 비교하여 추출 여부를 설문 조사하였다. 모두 다섯 단계에 체크하도록 하였다(1: 전혀 분리되지 않음, 2: 주화자의 음성이 분리되었지만 다른 화자의 음성도 명확히 들림, 3: 주화자의 음성이 분리되었지만 다른 화자의 음성이 중간 중간 남아있음, 4: 주화자의 음성이 주를 이루지만 다른 화자의 음성이 약간은 남아있음, 5: 주화자의 음성만 존재함).

Table 2. 개선된 음성과 원 신호의 설문 결과

평가자 Data	A	B	C	D	E
Set1	4	4	4	3	4
Set2	4	4	4	3	3
Set3	4	3	4	4	3



<표 2>의 설문 결과를 보면, 약간의 개선은 되었지만 여자 음성은 완전히 없어지지 않음을 나타냄.

## 2) Voiced/Unvoiced Decomposition

입력 신호는 지향성 필터에 의해 얻어진 주 화자 추출 신호를 사용했다. 피치 검출은 cross-correlation을 사용하였고, 90 Hz ~ 340 Hz 사이에서 피치 값을 결정했다. Window size는 2048이고, hamming window를 사용했다. 실험 결과는 다수의 사람들에게 얻어진 음성을 가지고 원래 음성과 비교하여 추출 여부를 설문 조사하였다. 모두 다섯 단계에 체크 하도록 하였다.

Table 3. 개선된 음성과 원 신호의 설문 결과

평가자 Data	A	B	C	D	E
Set1	4	4	4	4	3
Set2	3	4	4	3	4
Set3	4	4	4	4	3

<표 3>의 결과도 실험 2-1의 결과와 큰 차이를 보이지 않았고, 실험 2-1의 데이터와 비교해도 청각적인 설문 조사로는 큰 차이를 찾을 수 없었다. 설문 조사 당시 상황과 평가자의 차이에 따른 객관적인 판단을 내릴 수 없었다. 좀 더 과학적이고 수치적인 비교판단 방법을 통하여 비교하여야 한다는 문제점을 남겼다.

## 3.3 두 화자의 위치에 따른 분리 알고리즘의 성능 비교

이 실험에서는 두 화자의 위치에 따른 분리 알고리즘의 성능을 비교하기 위한 것이다. 실험에 사용된 데이터는 남자와 여자의 목소리로 5 가지 위치에 따라 얻어진 것이다. 첫 번째 데이터는 마이크로폰을 중심으로 남자는 30°, 여자는 150°에 위치한 것으로 두 화자의 간격은 120°를 나타낸다. 나머지 데이터는 120°부터 20° 간격으로(남자는 40°, 여자는 140°) 위치를 변화하면서 두 화자의 간격이 40°일 때까지 구하였다.

Table 4. 실험 3에 사용된 입력 데이터

화자의 간격	화자의 위치	
120°	30°(남자)	150°(여자)
100°	40°(남자)	140°(여자)
80°	50°(여자)	130°(남자)
60°	60°(여자)	120°(남자)
40°	70°(여자)	110°(남자)

<표 4>의 데이터들을 분리 알고리즘을 적용하여 각각의 개선된 주 화자의 음성을 얻었다. 얻어

진 음성을 바탕으로 다수의 실험자에게 청각적인 설문 조사를 실시하였다. 설문 조사의 단계는 앞의 실험과 동일한 다섯 단계로 하였다. 각 단계 별로 점수를 주고, 평균을 구하여 분리 알고리즘의 위치에 따른 성능을 비교 하였다(전혀 분리되지 않았을 경우 0 점, 약간 분리 되었을 경우 1 점, 50% 정도 분리되었을 경우 2 점, 거의 분리 되었을 경우 3 점, 완전히 분리되었을 경우 4 점).

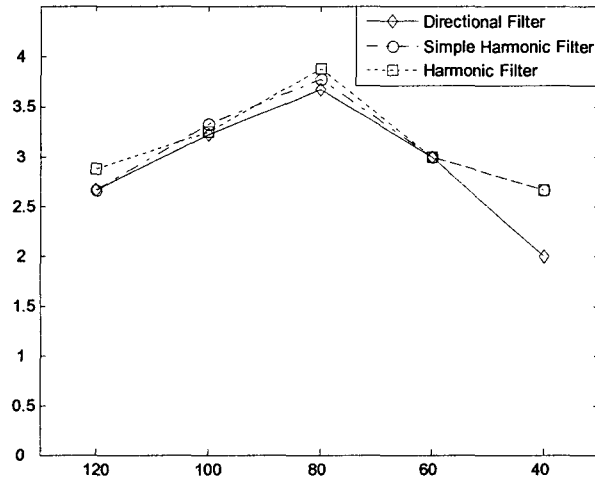


Figure 7. 두 화자의 위치에 따른 분리 알고리즘의 결과

<그림 7>은 두 화자의 위치에 따른 실험 결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 두 화자의 위치의 간격이 60°부터 100° 사이는 좋은 결과를 보여주고 있지만, 40°와 120°에서는 다른 위치에 비해 성능이 떨어짐을 알 수 있다. 지향성 필터의 경우 40°에서 두 화자 간의 간섭으로 주 화자의 음성을 분리해 내지만 다른 화자의 음성도 많이 포함되어있는 결과를 나타냈다. 하지만, 하모닉 필터를 이용한 경우 성능이 개선됨을 알 수 있다. 설문 조사 당시의 환경의 차이와 설문에 임하는 실험자의 주관적인 판단에 따라 결과가 영향을 받을 수 있는 문제점이 있다.

#### 4. Conclusions

본 논문에서는 다중 화자가 존재하는 환경에서 주화자의 음성을 추출 방법에 관하여 논하였다. 음성 추출을 위하여 귀 모델링과 지향성 필터를, 추출된 음성을 개선하기 위하여 하모닉 필터를 이용하여 다중 화자에서 특정화자의 음성을 분리 하는데 어느 정도의 가능성을 보았다. 하지만 완전한 분리를 위하여 좀 더 정확한 주화자의 피치 검출 문제나, 유성음 성분과 무성음 성분의 분리 문제에서 좀 더 정확한 분리가 요구되었다.

※ 본 연구는 학술진흥재단 2004 년도 선도연구지원 사업의 지원으로 수행되었습니다.

## Reference

- [1] Min, K. D., Li, C. S., Jones, C. 1988. "Automated two speaker separation system." *Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP-88*, 1988 International Conference on 11-14. pp. 537-540.
- [2] Okuno, H. G., Nakadai, K. 2003. "Real-time Sound Source Localization and Separation based on Active audio-Visual Integration." *IWANN 2003, LNCS 2686*, pp. 118-125.
- [3] härmä. A. 2000. *HUTear Matlab Toolbox (version 2.0)*.  
Available : <http://www.acoustic.hut.fi/software/HUTear/HUTear.html>
- [4] Kang, M. K., Yoo, C. D. 1995. "A Voiced/Unvoiced Decomposition of Speech Based on Maximum Likelihood." *KSCSP 1998*, pp. 475-478.
- [5] Matsui, K. T., Okuno, H. G. & Kitano, H. 2000. "Active Audition System and Humanoid Exterior Design." *Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1453-1461.
- [6] Hardwick, J., Yoo, C. D., & Lim, J. S. 1993. "Speech enhancement using the dual excitation model." *Proceedings of ICASSP*, pp. 803-806.
- [7] Rabiner L. R., & Schafer, R. W. 1978. *Digital Processing of Speech signals*, Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- [8] Kim, J. K., Choi, H. J. & Bae, M. J. 2001. "A New Pitch Detection Method in time-frequency domain." 제 14회 신호처리 합동 학술 대회 논문집, vol. 14, No.1, pp. 805-808.
- [9] Shin, D. K., Shin, J. I., Lee, J. H., Han, D. J., Park, S. H. 2000. "A Study on Pitch Detection using Cochlear Model on Cochannel Speech." *Trans. KIEE*, vol. 49D, No. 6, pp. 330-333.
- [10] Nakadai, K., Okuno, H. G., Laurens, T., & Kitano, H. 2001. "Humanoid Active Audition System."

접수일자: 2005. 07. 30

게재결정: 2005. 09. 01

▲ 백승은

광주광역시 북구 용봉동 300  
전남대학교 전자정보통신공학과 (우: 500-757)  
Tel: +82-62-530-0472 Fax: +82-62-530-1750  
E-mail: bamdoccaibi@empal.com

▲ 김진영

광주광역시 북구 용봉동 300  
전남대학교 전자정보통신공학과 (우: 500-757)  
Tel: +82-62-530-1757 Fax: +82-62-530-1750  
E-mail: beyondi@chonnam.ac.kr

## ▲ 나승유

광주광역시 북구 용봉동 300

전남대학교 전자정보통신공학과 (우: 500-757)

Tel: +82-62-530-1753 Fax: +82-62-530-1750

E-mail: syna@chonnam.ac.kr

## ▲ 최승호

전라남도 나주시 대호동 252

동신대학교 멀티미디어학부 (우: 520-714)

Tel: +82-61-330-3194 Fax: +82-61-330-3194

E-mail: shchoi@dsu.ac.kr