한국음향학회지 제20권 제4호 pp. 22~28 (2001)

저주파 위상 복원 알고리듬을 이용한 화자 위치 추적 시스템의 성능 개선과 구현

An Enhancement of Speaker Location System Using the Low-frequency Phase Restoration Algorithm and Its Implementation

이 학 주*, 차 일 환*, 윤 대 희*, 이 충 용*
(Hak-Ju Lee*, Il-Whon Cha*, Dae-Hee Youn*, Chungyong Lee*)

*연세대학교 전기전자공학과

(접수일자: 2001년 4월 21일; 수정일자: 2001년 5월 14일; 채택일자: 2001년 5월 20일)

본 논문은 차일환 명예회장의 정년퇴임을 기념하여 헌정되었습니다

본 논문에서는 마이크로폰 어레이를 통해 수신한 화자의 음성신호를 이용하여 추출된 공간정보를 통해 화자의 위치를 실시간으로 추적하는 알고리듬을 개선하고 이를 실시간으로 구현하였다. 기존의 대표적인 화자 위치 추정 알고리듬인 CPSP (Cross Power Spectrum Phase) 함수는 상호 상관관계 (Cross Correlation)가 정규화 되어있는 형태를 갖는데, CPSP 함수의 최대값 인덱스로부터 화자의 공간정보인 TDOA (Time Difference Of Arrival)를 추출하게 된다. 그러나 CPSP 함수를 이용한 공간정보 추정 알고리듬은 실내환경에서 심각하게 일어나는 반향신호에 대해서 취약한 단점을 갖고 있다. 본 논문에서 제안하는 저주파 위상 복원 알고리듬은 주파수 측면에서 반향신호가 CPSP 함수에 미치는 영향을 분석하여 반향으로 인하여 왜곡된 위상 성분을 복원함으로써 보다 신뢰도 있는 TDOA 추정을 가능하게 한다. 반향신호로 인한 CPSP의 위상은 저주파보다 고주파에서 심하게 왜곡되는데, 각각의 반향신호의 도달 시간을 기하학적 분포를 갖는 확률변수로 모델링하여 이를 수학적으로 증명하였다. 제안한 시스템의 성능 분석을 위해 DSP를 이용한 실시간 시스템을 구현하여 기존 CPSP 알고리듬과 제안된 알고리듬을 적용한 시스템을 실제 환경에서 비교 실험을 수행한 결과 제안된 알고리듬을 적용한 시스템에서 약 15샘플 이상 TDOA 추정 오차가 줄어들고 있음을 확인하였다.

핵심용어: 마이크로폰 어레이, 화자 위치 추적, 도달 시간 지연 차이, 상호 상관관계, 저주파 위상 복원, 실시간 시스템

투고분야: 음향 신호처리 분야 (1,2)

This paper describes the implementation of a robust speaker position location system using the voice signal received by microphone array. To be robust to the reverberation which is the major factor of the performance degradation, low-frequency phase restoration algorithm which eliminates the influence of reverberations using the low-frequency information of the CPSP function is proposed.

The implemented real-time system consists of a general purpose DSP (TMS320C31 of Texas instruments), analog part which contains amplifiers and filters, and digital part which is composed of the external memory and 12-bit A/D converter.

책임저자: 이학주 (midus@assp.yonsei.ac.kr)
120-749 서울시 서대문구 신촌동 134
연세대학교 전기전자공학과 음향, 음성, 신호처리 연구실 (B601)
(전화: 02-2123-4534; 팩스: 02-312-4584)

In the real conference room environment, the implemented system that was constructed by the proposed algorithms showed better performance than the conventional system. The error of the TDOA estimation reduced more than 15 samples.

Keywords: *Microphone array, Position location, TDOA, Cross-correlation, Low-frequency phase restoration, Real-time system*

ASK subject classification: *Acoustics signal processing (1.2)*

I. 서 론

최근 원거리 통신의 발달로 응용의 폭이 넓어진 다자간 원격 회의 시스템에서 마이크로폰 어레이를 사용하여 특정 화자의 위치를 추정하고 특정화자의 음성만을 선택적으로 취득하기 위한 기술이 점차 요구되고 있다. 특히, 보다 현실감 있는 원거리 회의 시스템의 실현을 위하여 회의 환경하에서 화자의 움직임과 변동에 실시간 적응할 수 있으며, 원하지 않는 화자에 의한 간섭신호 및 주변잡음 또는 화자가 위치한 공간구조에 의한 반향신호를 실시간으로 제거할 수 있는 마이크로폰 어레이 시스템의 구축이 필요하다. 또한 이러한 위치 추적 기술은 향후 전파환경에 응용되어 단말기의 위치 추적 및 스마트 안테나 시스템과 같은 분야의 핵심 기술이 될 수 있다.

화자의 위치를 추정해내는 방법으로 활발히 연구되고 있는 분야로 지연 시간 (TDOA: Time Difference Of Arrival) 추정 알고리듬을 들 수 있다[1]. 이는 수신신호간의 도달 시간 차이를 추정함으로써 음원의 공간정보를 추출하는 방법인데, 이러한 추정기법은 공간 내 주변 잡음 및 벽면 등에 반사되어 입사하는 반향신호와 같은 추정 성능 저하 요인을 갖고 있다. 최근에는 이러한 요인들에 강인한 지연 시간 추정 기법들이 연구되고 있지만[2], 주로 주변 잡음만을 고려한 성능 향상 알고리듬에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있어 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 지연 시간 추정 알고리듬을 기반으로 반향신호의 영향을 감소시키는 성능 개선 기법을 개발하고 이를 DSP를 이용하여 실시간으로 구현, 통합된 화자 위치 추적 시스템을 구축하는 것을 그 목표로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 위치 추적 알고리듬에 대하여 설명하고 3장에서는 제안한 반향에 강인한 화자 위치 추적 알고리듬인 저주파 위상 복원 알고리듬에 대하여 설명한다. 4장에서는 제안된 알고리듬의 하드웨어 구현에 대하여 다루었고, 5장에서 성능 평가를 위한 실제 환경에서 실험을 수행하였으며 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 위치 추적 알고리듬

마이크로폰 어레이에 입사되는 신호로부터 공간정보를 추출하는 대표적인 방법으로 도달 시간 차이 (TDOA)를 이용한 알고리듬을 들 수 있다[3]. 이는 공간적으로 위치한 여러 개의 마이크로폰에 입사하는 시간차이를 구하여 이를 통해 위치를 추적하는 방법으로 반향신호가 적을 경우 우수한 성능을 가지며 이미 레이다, 소나 및 이동통신 분야 등에서 많이 적용되고 있다.

그림 1과 같이 두 개의 마이크로폰에 수신되는 신호를 각각 $x_1(t)$, $x_2(t)$라고 하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} x_1(t) = A_1 s(t-\tau_1) + \sum_{l=1}^{L} a_{1l} s(t-\mu_{1l}) \\ x_2(t) = A_2 s(t-\tau_2) + \sum_{m=1}^{M} a_{2m} s(t-\mu_{2m}) \end{cases} \quad (1)$$

여기서, $s(t)$는 화자의 음성신호이며, A_i는 화자로부터 i번째 마이크로폰까지 전달 손실을 의미한다. 또한 τ_i는 직접경로에 의한 i번째 마이크로폰까지의 도달 시간을, μ_{ij}는 i번째 마이크로폰에 입사하는 j번째 반향경로의 도달 시간을 나타낸다. 그리고 L, M은 각 마이크로폰에 도달하는 반향 경로의 개수이다. 각각의 수신신호에 FFT를 취하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} X_1(w) = \left[A_1 e^{-j\tau_1 w} + \sum_{l=1}^{L} a_{1l} e^{-j\mu_{1l} w} \right] S(w) \\ X_2(w) = \left[A_2 e^{-j\tau_2 w} + \sum_{m=1}^{M} a_{2m} e^{-j\mu_{2m} w} \right] S(w) \end{cases} \quad (2)$$

따라서 주파수 영역에서 두 수신신호의 CPSP 함수를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} CPSP(w) &= X_1(w)\, X_2^*(w) \\ &= [A_1 A_2 e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} \\ &+ \sum_{l=1}^{L} A_2 a_{1l} e^{-j(\mu_{1l}-\tau_2)w} + \sum_{m=1}^{M} A_1 a_{2m} e^{-j(\tau_1-\mu_{2m})w} \\ &+ \sum_{l=1}^{L} \sum_{m=1}^{M} a_{1l} a_{2m} e^{-j(\mu_{1l}-\mu_{2m})w}] \, |S(w)|^2 \end{aligned} \quad (3)$$

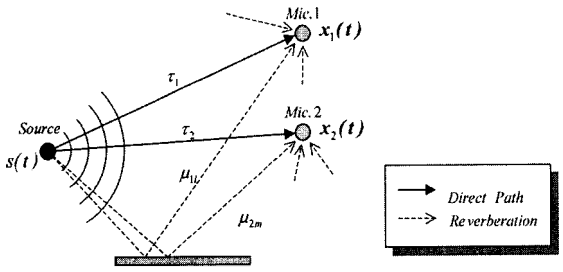


그림 1. 두 개의 마이크로폰으로 수신하는 음성신호
Fig. 1. Recieved signal using two microphones.

일반적으로 반향신호는 직접경로에 의한 도달 신호보다 작은 전력을 가지므로 각각의 반향경로에 의한 상관관계인 우변의 마지막항은 무시할 수 있다. 또한 식 (4)와 같이 CPSP함수를 정규화함으로써 $|S(w)|^2$의 영향을 근사적으로 제거할 수 있다. 이렇게 변형된 MCPSP (Modified CPSP) 함수는 아래와 같다[4].

$$
\begin{aligned}
&MCPSP(w) \\
&= \frac{X_1(w)\,X_2^*(w)}{|X_1(w)|\,|X_2(w)|} \\
&\approx [A_1A_2e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} + \sum_{l=1}^{L} A_2a_{1l}\,e^{-j(\mu_{1l}-\tau_2)w} \\
&\quad + \sum_{m=1}^{M} A_1a_{2m}\,e^{-j(\tau_1-\mu_{2m})w}]
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&mcpsp(t) \\
&= A_1A_2\delta(t-(\tau_1-\tau_2)) + \sum_{l=1}^{L} A_2a_{1l}\,\delta(t-(\mu_{1l}-\tau_2)) \\
&\quad + \sum_{m=1}^{M} A_1a_{2m}\,\delta(t-(\tau_1-\mu_{2m})) \qquad (4)
\end{aligned}
$$

위 식으로부터 주파수 영역에서의 MCPSP 함수는 두 마이크로폰 각각에 들어오는 직접 경로 신호에 의한 상관관계 뿐만 아니라 반향신호와 직접 경로 신호간의 상관관계들의 합으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 여러 경로를 통한 반향신호의 영향이 더해진 형태로 MCPSP 함수에 미치기 때문에 이것이 직접 경로들에 의한 상관관계보다 커질 경우 잘못된 공간 정보를 추정하게 되는 문제점을 갖고 있다.

III. 제안한 위상 복원 알고리듬

본 절에서는 TDOA 추정을 위해 시간축에서 CPSP함수를 구성하여 최대값 인덱스로부터 결정하는 기존의 알고리듬보다 반향의 영향에 강인한 CPSP 저주파 영역에서 위상 복원을 이용하는 TDOA 추정 알고리듬에 대해서 설명한다. 식 (4)와 같이 상호 상관 관계를 이용하여 TDOA를 추정하는 기존의 알고리듬에서는 벽 또는 유리창 등에 반사되어 들어오는 공간 반향신호에 의해 심각한 성능 저하를 갖는 단점을 가지고 있다. 따라서 여기서는 CPSP를 이용한 기존 TDOA 추정 알고리듬이 갖는 문제점에 대해 분석하고 보다 반향의 영향에 강인한 알고리듬을 제안한다.

3.1. 반향 신호의 확률 변수 모델링

일반적으로 음파의 세기는 진행 거리의 제곱에 반비례한다[5]. 이런 성질을 이용하면 일정 기준치 이상의 파워를 갖는 반향신호의 특성을 결정짓는 중요한 요소인 도달시간 μ_{1l}, , μ_{2m}은 근사적으로 룸 충격 응답으로부터 다음과 같은 지수함수 분포를 갖는 확률 변수로 모델링할 수 있다.

$$
\begin{aligned}
f_{M_{1l}}(\mu_{1l}) &= \lambda e^{-\lambda(\mu_{1l}-\tau_1)} \quad (\mu_{1l} > \tau_1) \\
f_{M_{2m}}(\mu_{2m}) &= \lambda e^{-\lambda(\mu_{2m}-\tau_2)} \quad (\mu_{2m} > \tau_2)
\end{aligned}
\quad , \ \lambda > 0 \quad (5)
$$

이때 λ는 실내의 환경에 따른 반향 정도를 결정짓는 변수이며, 두 마이크로폰간의 간격이 작을 경우 같은 값을 적용할 수 있으며 각각의 반향경로들은 실내 환경의 영향에 의한 것이므로 서로 독립적이다. 따라서 이에 따른 반향신호의 도달시간 또한 서로 독립적이므로, 다음과 같이 주파수 영역에서 MCPSP함수의 기대값을 얻을 수 있다.

$$
\begin{aligned}
&E[MCPSP] \\
&= E[A_1A_2e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} \\
&\quad + \sum_{l=1}^{L} A_2a_{1l}e^{-j(\mu_{1l}-\tau_2)w} + \sum_{m=1}^{M} A_1a_{2m}e^{-j(\tau_1-\mu_{2m})w}] \\
&= A_1A_2e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} + LA_2\overline{a_1}\,E[e^{-j(\mu_{1l}-\tau_2)w}] \\
&\quad + MA_1\overline{a_2}\,E[e^{-j(\tau_1-\mu_{2m})w}] \\
&= A_1A_2e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} + LA_2\overline{a_1}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-j(\mu_{1l}-\tau_2)w} \\
&\quad \times f_{M_{1l}}(\mu_{1l})\,d\mu_{1l} + MA_1\overline{a_2}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-j(\tau_1-\mu_{2m})w} \\
&\quad \times f_{M_{2m}}(\mu_{2m})\,d\mu_{2m} \\
&= A_1A_2e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} + LA_2\overline{a_1}\int_{\tau_1}^{\infty} e^{-j(\mu_{1l}-\tau_2)w} \\
&\quad \times \lambda e^{-\lambda(\mu_{1l}-\tau_1)}\,d\mu_{1l} + MA_1\overline{a_2}\int_{\tau_2}^{\infty} e^{-j(\tau_1-\mu_{2m})w}
\end{aligned}
$$

$$\times \lambda e^{-\lambda(\mu_{2m}-\tau_2)} d\mu_{2m}$$
$$= [\, A_1 A_2 e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} \,]$$
$$+ \left[LA_2 \overline{a_1} \frac{\lambda}{\lambda + jw} e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} + MA_1 \overline{a_2} \frac{\lambda}{\lambda - jw} e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} \right]$$
$$= \overline{MCPSP_{directpath}} + \overline{MCPSP_{reverberation}} \quad (6)$$

이 때, $\overline{a_i}$는 i번째 마이크로폰에 들어오는 반향신호의 평균 크기를 의미한다.

3.2. 제안한 CPSP 저주파 위상 복원 알고리듬

이와 같이 각 반향경로 신호들을 독립된 확률변수로 생각하고 평균값을 취하면, 직접경로 신호에 의한 상관관계 및 반향신호에 의한 영향들로 나눌 수 있음을 알 수 있다. 식 (6)에 의하면 $\frac{\lambda}{\lambda \pm jw}$ 와 같은 복소수 형태로 나타나는 반향신호의 영향으로 실제 공간 정보를 갖고 있는 지수함수의 위상성분이 왜곡되게 되어 잘못된 TDOA를 추정하게 된다.

이러한 MCPSP 함수의 반향성분에 의한 영향은 다음과 같다.

$$\overline{MCPSP_{reverberation}}(w)$$
$$= LA_2 \overline{a_1} \frac{\lambda}{\lambda + jw} e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} + MA_1 \overline{a_2} \frac{\lambda}{\lambda - jw} e^{-j(\tau_1-\tau_2)w}$$
$$= \lambda \left[\frac{(LA_2 \overline{a_1} + MA_1 \overline{a_2})\lambda - (LA_2 \overline{a_1} - MA_1 \overline{a_2}) jw}{\lambda^2 + w^2} \right] e^{-j(\tau_1-\tau_2)w} \quad (7)$$

위 식에서 위상 성분만을 추출하면,

$$\angle \overline{MCPSP_{reverberation}}(w)$$
$$= -(\tau_1 - \tau_2)\, w \quad (8)$$
$$- \tan^{-1} \left[\frac{LA_2 \overline{a_1} - MA_1 \overline{a_2}}{(LA_2 \overline{a_1} + MA_1 \overline{a_2})\lambda} \right] w$$
$$= \angle TDOA_{TRUE} + \angle TDOA_{FALSE} \quad (8)$$

따라서 식 (8)로부터 MCPSP 함수의 위상 성분은 정확한 공간 정보를 담고 있는 $\angle TDOA_{TRUE}$와 반향으로 인해 왜곡된 위상 성분인 $\angle TDOA_{FALSE}$으로 구성되어 있음을 알 수 있고, 왜곡된 위상 성분 $\angle TDOA_{FALSE}$는 주파수 w에 비례하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 MCPSP 함수의 저주파 위상 성분만을 사용하여 전체 주파수 영역에서의 위상을 복원함으로써 반향에 보다 강인한 공간 정보 TDOA를 추정할 수 있다. 이때 저주파 영역의 경계치를 결정함에 있어서는 평균 기울기의 변화량을 사용한다.

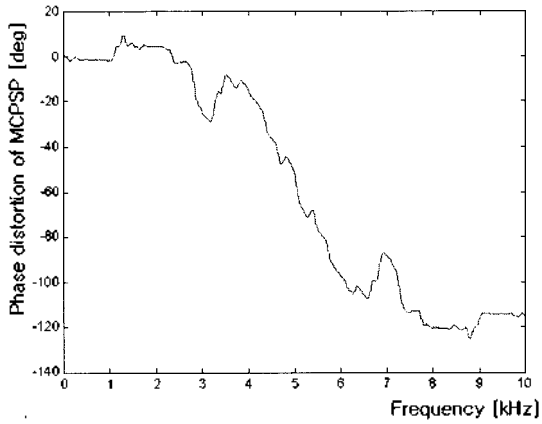


그림 2. 주파수에 따른 MCPSP 함수의 반향성분에 의한 위상 왜곡
Fig. 2. Phase distortion of MCPSP function according to the frequency.

그림 2는 실제 환경에서 채집한 음성 신호를 이용하여 실험한 결과로, 위 식으로부터 MCPSP 함수의 반향성분에 의한 위상 왜곡 성분은 w가 작을 경우, 즉 저주파에서 작아지는 것을 알 수 있다. 따라서 반향신호는 MCPSP 함수의 고주파 성분에 대해 큰 영향을 끼치고 있으므로 상대적으로 왜곡이 적은 저주파 영역에서 MCPSP 함수의 위상성분을 이용함으로써 보다 신뢰도 있는 TDOA를 추정이 가능하다.

IV. 하드웨어 구현

제안한 알고리듬이 요구하는 시스템 사양은 표 1과 같다. 먼저 연산량 측면에서는 TDOA 추정 블록에서 최대 20 MIPS 정도의 연산 속도가 필요하며, 요구되는 메모리 크기는 프로그램 3.4Kwords 및 데이터 버퍼 46.5Kwords 등 50Kwords 정도가 필요하다. 음성 입력으로는 각각 10kHz 샘플링된 6개의 채널을 갖고 출력으로는 화자 위치 좌표인 3개의 실수값을 갖는다. 또한 마이크로폰은 일반적으로 흔히 사용되는 unidirectional condenser 마이크 6개를 사용하였다.

이러한 시스템 사양에 만족하는 DSP 프로세서를 선정함에 있어서 크게 두가지 사항을 고려하였는데, 첫 번째로는 구현되는 알고리듬이 높은 시간 지연 해상도를 요구하기 때문에 16 bit 고정소수점 연산 DSP 보다는 32bit 부동소수점 연산 DSP가 유리하며, 두 번째로는 프로그램이 블록 프로세싱을 이용하기 때문에 그다지 빠른 고속의 DSP가 아니더라도 충분히 실시간으로 구현할 수 있는 점

표 1. 제안한 알고리듬의 시스템 사양
Table 1. System specification of proposed algorithm.

Processor	TMS320C31-50 : 32-bit 부동 소수점	
연산량	최대 81% 사용 (전체 25MIPS)	
Memory Usage	Program	3.4 Kwords
	Data	46.5 Kwords
Input	6 Channel	: 10 kHz Sampling Freq.
Output	3 floating value : 3-D position	

이다. 따라서 이러한 점에 가장 적절한 25 MIPS 연산량을 갖는 TI사의 TMS320C31 부동소수점 연산 DSP 프로세서를 사용하였다.

구현된 하드웨어는 크게 아날로그 부분과 디지털 부분으로 구성되어 있다. 그림 3은 하드웨어 블록도를 나타낸 것이다. 먼저, 아날로그 회로에서 입력 신호는 극히 미약하므로 이 신호를 증폭시키기 위해 증폭기를 사용하고 각 채널 입력의 이득이 같도록 조절이 가능하게 하였다. 이렇게 증폭된 신호에는 아주 낮은 저주파 대역의 잡음신호도 함께 증폭되어 포함되어 있고 전원의 60Hz 잡음도 포함되어 있기 때문에 이를 제거하기 위해 고역통과 필터를 사용하였다. 그리고 고주파 대역에서 발생하는 aliasing 현상을 방지하기 위해 저역통과 필터를 사용하였다. 이렇게 출력된 아날로그 신호를 디지털 신호로 만들기 위해 다채널 12-bit A/D Converter를 사용하였고, 이 신호를 DSP 보드내에서 신호처리를 하였다. 또한, 입력된 데이터의 버퍼링을 위한 외부메모리와 어드레스 디코딩, 가중치 생성등 버스 제어를 위한 회로로 구성하였다.

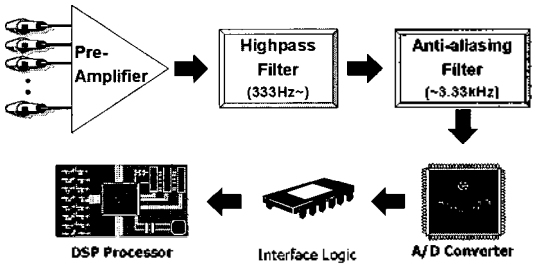
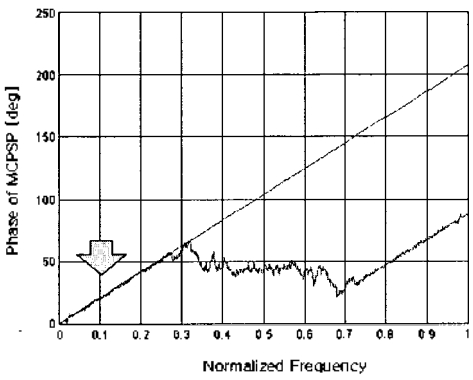


그림 3. 구현된 하드웨어 블록도
Fig. 3. Block diagram of implemented hardware.

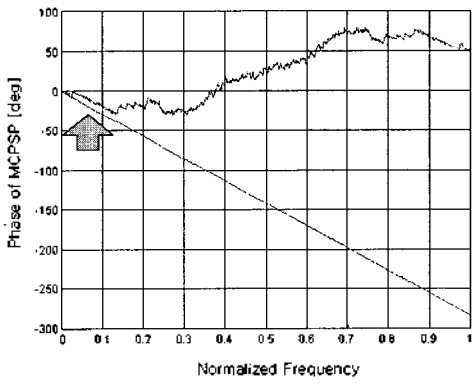
V. 실험 결과

화자의 공간정보로 TDOA 추정을 위한 기존의 MCPSP 기법은 반향의 영향에 특히 고주파 성분이 심하게 왜곡됨으로 인해서 반향이 심한 환경에서는 부적합하다. 따라서 제안된 알고리듬에서는 반향에 의한 왜곡이 적은 저주파 영역에서의 MCPSP 정보만을 이용함으로써 추적 위치 오차를 최소화하였다. 그림 4는 이상적으로 반향이 전혀 없는 경우와 실제 환경에서 실험을 통해 채집한 음성신호를 이용한 경우 각각에 대하여 무작위 추출한 두 개의 MCPSP 함수의 주파수에 따른 위상을 그린 것이다. 이때 음성신호로는 실제 환경에서 남녀 화자 각각에 대하여 약 3-5초 정도 채집한 신호를 사용하였다. 반향이 전혀 없는 이상적인 경우 MCPSP 함수는 시간축에서 임펄스 하나가 시간 지연된 형태를 가지므로 점선으로 표시한 것과 같이 선형 위상을 갖게 된다. 그러나 실제 환경에서는 반향의 영향 및 잡음의 상관관계 등으로 더 이상 선형 위상 특성을 갖지 못하고 실선으로 표시된 것과 같이 왜곡된 형태를 갖는다.

따라서 제안된 알고리듬에서는 왜곡된 고주파의 영향으로 MCPSP 함수의 모든 정보를 이용하는 것보다



(a) 위치 1에서의 MCPSP 위상
(a) Phase spectrum in pos. 1



(b) 위치 2에서의 MCPSP 위상
(b) Phase spectrum in pos. 2

그림 4. 두 군데 실험위치에서 주파수에 따른 MCPSP 위상변화
Fig. 4. Phase spectrum of MCPSP function in two positions.

표 2. 알고리듬에 따른 TDOA 추정 오차
Table 2. TDOA estimation error according to the algorithms.
(단위 : 샘플)

	기존 알고리듬	제안한 알고리듬
Position 1	38.4950	13.0920
Position 2	20.8670	6.6106
Position 3	14.4879	3.9370
Position 4	15.3297	8.5401
Position 5	35.4109	19.4799
Total	26.8929	11.6876

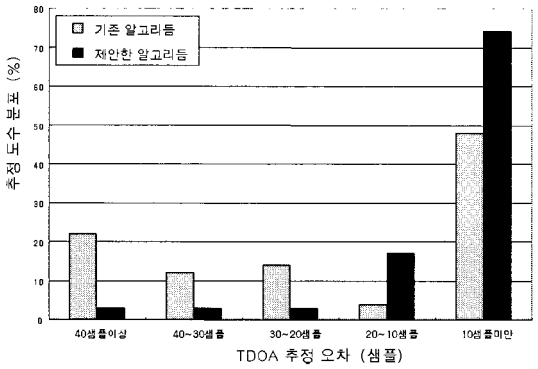


그림 5. TDOA 추정 오차의 도수 분포도
Fig. 5. Histogram of TDOA estimation error.

normalized frequency 0.1 이하의 저주파 정보만을 이용하여 신뢰도 있는 TDOA를 추정한다. 표 2는 5개의 화자 위치에서 기존 알고리듬 및 제안한 알고리듬을 이용하여 실험한 각각 20개씩의 MCPSP 함수로부터 추출한 공간정보 TDOA의 오차를 나타낸 것이다.

따라서 제안한 알고리듬을 적용했을 경우 평균적으로 15샘플 정도 TDOA 추정 오차를 줄일 수 있음을 확인할 수 있다. 그림 5는 40번의 실험을 거친 TDOA 추정 오차의 도수분포도이다. x축은 추정된 TDOA의 오차를 의미하며, y축은 그러한 경우 발생 빈도를 나타내는 것이다. 기존 알고리듬에서는 특히 심각한 위치 추적 오차를 발생시킬 수 있는 40샘플이상의 TDOA 오차가 20%이상의 경우에서 발생하고 있음에 비하여 제안한 알고리듬을 적용하였을 경우 70%이상의 대부분의 경우에서 10샘플 미만의 TDOA 오차가 발생하므로 위치 추적 오차에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 마이크로폰 어레이를 이용하여 수신한 음성신호로부터 화자의 위치를 추적하는 화자 위치 추적 알고리듬에 있어 반향의 영향에 강인한 알고리듬을 제안하고 이를 DSP 프로세서를 이용하여 실시간으로 구현하였다.

기존의 화자 위치 추적 알고리듬은 화자의 공간정보인 TDOA를 이용하는 CPSP 알고리듬으로 수신한 음성신호에 상당한 반향신호가 존재할 경우 반향신호에 의한 상관관계가 누적된 형태로 나타나게 되어 심각한 성능저하를 가져오는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 CPSP함수의 저주파 정보를 이용하여 반향의 영향을 최소화하는 저주파 위상 복원 알고리듬을 제안하였다.

제안된 화자 위치 추적 알고리듬을 구현하기 위해 알고리듬 분석을 통해 최적의 DSP 프로세서로 TI사의 TMS320C31을 선정하였다. 또한 증폭단 및 필터단으로 이루어진 아날로그 회로부와 외부 확장 메모리 및 12-bit A/D 변환기로 이루어진 디지털 회로부를 제작하여 통합된 형태의 화자 위치 추적 시스템을 구성하였다.

제안한 알고리듬과 구현한 시스템의 성능 분석을 위해 실제 회의실 환경에서의 실험을 수행하였다. 실험 결과 제안한 저주파 위상 복원 알고리듬을 통해서 평균 15샘플 이상 TDOA 추정 오차를 줄일 수 있음을 확인하였고, 심각한 위치 추적 오차를 불러일으킬 수 있는 40샘플 이상의 오차 발생 확률을 크게 개선함으로써 위치 추적 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단의 99특정기초사업 지원(1999-1-302-010-2)으로 연구되었습니다.

참 고 문 헌

1. Daniel V. Rabinkin, *Optimum Sensor Placement for Microphone Arrays*, New Brunswick, May 1998.
2. Y. T. Li and A. L. Kurkjian, "Arrival Time Estimation Using Iterative Signal Reconstruction from the Phase of the Cross-Spectrum," *Proc. of the 2nd International Symposium on Computer-Aided Seismic Analysis and Discrimination*, pp. 87-91, Aug. 1981.
3. Chales H. Knapp, "The Generalized Correlation Method for Estimation of Time Delay," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. **24**, no. 4, pp. 320-327, Aug. 1976.
4. Richard James Renomeron, *Spatially Selective Sound Capture for Teleconferrncing Systems*, New Brunswick, Oct. 1997.
5. 차일환, 음향공학개론, 한신문화사, 1976.

저자 약력

● 이 학 주 (Hak-Ju Lee)

1998년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2001년 2월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
※ 주관심분야: 배열 신호처리, 음성 신호처리, 실시간 신호처리

● 차 일 환 (Il-Whon Cha)

1959년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
1983년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1981년~1987년: 한국음향학회 회장
1988년~2001년: 연세대학교 전자공학과 교수
2001년~현재: 연세대학교 산업기술연구소 자문교수

● 윤 대 희 (Dae-Hee Youn)

한국음향학회지 제18권 7호 참조

● 이 충 용 (Chungyong Lee)

한국음향학회지 제18권 7호 참조