

자동차 환경에서 TDOA를 이용한 화자위치추정 방법

이상현*, 최홍섭**

요약

본 논문에서는 차량 내부 환경에서 음성인식 성능을 향상시켜 안정적인 차량 제어를 위한 방법으로 사용하는 음원 위치추정방법의 성능 비교와 개선 방법을 제안하였다. 일반적으로 음원 위치추정에는 TDOA 알고리즘을 사용하는데 여기에는 시간영역에서 상호상관함수를 이용하는 방법과, 주파수 영역에서 계산하는 GCC-PHAT 방법이 있다. 이중 GCC-PHAT 방법은 상호상관함수보다 반향과 잡음에 강한 특성을 보인다고 알려져 있다. 본 연구에서는 반향과 잡음이 많은 차량 환경에서 위 두 방법의 성능을 비교하고 추가로 미디언 필터 사용을 제안하여 음원위치 추정 성능과 시스템의 안정성을 나타내는 지표로 사용하는 분산값이 모두 향상됨을 확인하였다. 실험결과에서 음성을 사용한 실험에서는 두 방법의 성능 차이가 거의 없지만, 노래신호를 사용한 음원위치 추정에서는 GCC-PHAT 방법이 상호상관함수에 비해 인식률이 10% 우수함을 확인하였다. 또한 미디언 필터를 추가한 경우에는 상호상관함수 방법의 인식률을 최고 11%까지 향상시킬 수 있었고 분산값에서도 두 방법 모두 안정적인 성능을 보여주었다.

키워드 : GCC-PHAT, 미디언 필터, 음원 위치 추정, TDOA

On the speaker's position estimation using TDOA algorithm in vehicle environments

Sang-Hun Lee*, Hong-Sub Choi**

Abstract

This study is intended to compare the performances of sound source localization methods used for stable automobile control by improving voice recognition rate in automobile environment and suggest how to improve their performances. Generally, sound source location estimation methods employ the TDOA algorithm, and there are two ways for it; one is to use a cross correlation function in the time domain, and the other is GCC-PHAT calculated in the frequency domain. Among these ways, GCC-PHAT is known to have stronger characteristics against echo and noise than the cross correlation function. This study compared the performances of the two methods above in automobile environment full of echo and vibration noise and suggested the use of a median filter additionally. We found that median filter helps both estimation methods have good performances and variance values to be decreased. According to the experimental results, there is almost no difference in the two methods' performances in the experiment using voice; however, using the signal of a song, GCC-PHAT is 10% more excellent than the cross correlation function in terms of the recognition rate. Also, when the median filter was added, the cross correlation function's recognition rate could be improved up to 11%. And in regarding to variance values, both methods showed stable performances.

Keywords : GCC-PHAT, median filter, sound source localization, TDOA,

1. 서론

※ Corresponding Author : Hong-Sub Choi

Received : October 16, 2015

Revised : December 27, 2015

Accepted : April 25, 2016

* Saman Corporation

** Dept. of Electronic Eng., Daejin Univ.

Tel : 82-031-539-1903 , FAX:+82-031-539-1900

email: hschoi@daejin.ac.kr

최근 음성인식 기술의 실용화가 이루어지면서 음성인식^[1]을 이용한 많은 제품들이 시장에 등장하고 있다. 자동차에 음성인식기능을 탑재한 스마트카 시장 역시 확대되면서 그와 관련된 IT기술 연구 역시 활발히 진행되고 있는데, 특히 운전자와 차량의 원활한 상호작용을 위한 HVI(Human Vehicle Interface)^[2]기술은 음성인식, 동작인식, 햅틱 등의 다양한 분야에서 연구가 이루어지고 있다. 이중 음성인식은 2001년 GM을 시작으로 가장 먼저 관심을 받기 시작하였으며, 앞으로도 중요성이 높아질 것으로 예상할 수 있는데, 이것은 차량을 설계할 때 가장 최우선 적으로 고려되는 것이 안전이며, 안전을 위하여 가장 적합한 사용자 인터페이스가 BUI(Brain User Interface)를 제외하고는 VUI(Voice User Interface)가 가장 적합하다고 하기 때문이다. 하지만 차량 환경에서 음성정보는 다수의 화자가 존재할 수 있으며, 운전자를 제외한 다른 음성정보는 차량제어에 활용되어서는 안 되는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 음성의 발생 위치를 판단하여 차량제어에 활용하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 차량에 마이크를 배치하고, 마이크로 들어오는 음성정보를 이용하여 운전자와 동승자의 위치를 구별하는 실험을 진행하였다. 음원의 위치를 추정할 때는 머리전달함수^[3], 힐버트 변환^[4], TDOA^[5], 빔 포밍^[6] 등의 방법을 이용한다. 차량환경에서는 차량 내부라는 공간적인 제약이 있기 때문에 마이크를 이용해서 위치를 추정할 수 있는 TDOA방법을 이용하여 지연시간을 측정된 뒤 음원의 위치를 추정하는 방법을 사용한다. TDOA는 음원에서 발생한 음압신호가 각 마이크에 서로 다른 위상 정보를 가지고 도달하게 되는데 이러한 위상 정보를 시간 정보로 변환하여 도달 지연시간을 구한다. 이러한 도달지연시간을 구하기 위한 방법으로는 시간영역에서 상호상관함수와 주파수영역에서의 GCC-PHAT(Generalized Cross Correlation-Phase Transform) 방법이 있다. 상호상관함수는 시간영역에서 계산하는 방법으로 간단하고 비교적 정확성이 좋아 널리 쓰이는 반면에, GCC-PHAT방법은 입력 신호를 백색화하는 과정을 통해 해당 주파수의 음압을 제거한 뒤, 위상지연을 이용하여 위치를 추정하는 방법으로, 반향효과를 감소시키고 잡음을 줄일 수 있어 특정 환경에서 주로 사용한다.

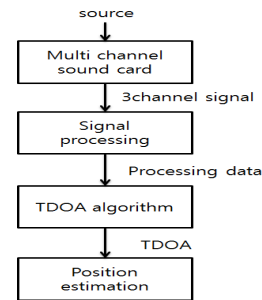
본 논문에서는 차량 내부의 운전자석과 동승자석 사이에 3개의 마이크를 사용하므로 3개의 도달지연

시간을 계산할 수 있는데, 이중 2개의 지연시간을 이용하여 직선의 방정식을 구하고 이의 교점을 음원의 위치로 판단하게 된다. 본 논문에서는 성능 향상을 위하여 미디언 필터를 이용하여 신호를 가공하고, 음압에 임계치를 주어 비음성 구간을 검출하는 방법을 제안하였다.

2. 위치추정시스템 구성

TDOA를 이용한 위치추정 시스템은 (그림 1)과 같이 크게 4가지 단계로 나누어 진행된다. 1단계는 멀티채널 사운드 카드를 이용해 음성신호를 취득하는 단계로, 전반적인 시스템 처리 속도에 영향을 미치는 과정이다. 2단계에서 정확한 TDOA 값을 얻기 위하여 신호를 가공하며, 3단계는 가공된 신호를 통해 TDOA 값을 얻는다. 마지막 단계에서는 최종적인 위치를 추정하게 된다.

(그림1) 위치 추정 시스템의 구성



(Figure 1) The configuration of the position estimation system

3. TDOA 계산 방법

3.1 상호상관함수

상관성은 신호간의 유사성을 나타내는 것으로 상관함수는 자기상관함수와 상호상관함수 두 가지가 있다. 자기상관함수는 자기 자신의 신호에 대해 시간, 주파수축 상으로 이동된 자기 자신과의 상관성을 나타내며, 상호상관함수는 2개의 서

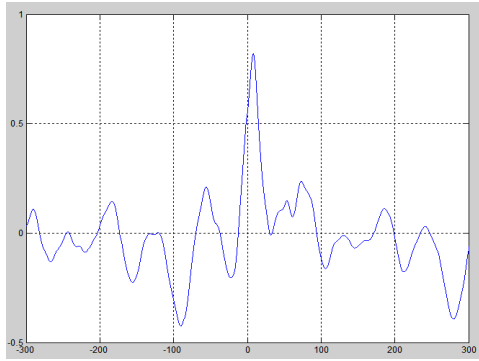
로 다른 신호의 유사성을 나타낸다. 음원에서 음성이 발생돼서 1번째 마이크에 들어오는 신호를 $x_1(t)$, 2번째 마이크에 들어오는 신호를 $x_2(t)$ 라고 하면, 식(1)과 같은 상호상관도를 얻을 수 있다.

$$R_{x_1x_2}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x_1(t)x_2(t-\tau)dt \quad (1)$$

식(1)을 통해 구해진 $R_{x_1x_2}(\tau)$ 에서 가장 큰 값을 나타내는 τ 값이 마이크 사이의 최종적인 도달지연시간이 되므로 도달지연시간은 식(2)와 같이 나타낼 수 있으며, (그림 2)와 같이 나타난다.

$$\hat{\tau} = \operatorname{argmax}_{\tau} R_{x_1x_2}(\tau) \quad (2)$$

(그림 2) $R_{x_1x_2}(\tau)$ 를 이용한 지연시간추정



(Figure 2) Delay time estimation using $R_{x_1x_2}(\tau)$

3.2 GCC-PHAT

시간축에서 상호상관함수를 이용하여 계산할 수도 있지만, 상호상관함수는 샘플 수가 많아짐에 따라 계산량이 기하급수적으로 증가하기 때문에 처리속도가 늦다. 따라서 실시간으로 처리해야 하는 장소에서는 적용하기 어려워 상대적으로 계산량이 적은 GCC^[7]방법을 이용한다.

식(1)을 푸리에 변환하면 아래 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{x_1x_2}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W(w)X_1(w)X_2^*(w)e^{i\omega\tau}dw \quad (3)$$

이때 주파수 가중함수 $W(w) = 1$ 이면 이때의 식을 GCC라고 한다. 이 가중함수를 적절하게 조절하면 잡음을 감소시키고 반향효과를 줄일 수 있는데, 주로 사용되는 가중함수는 주파수영역에서 음압의 크기를 제거하고 백색화하는 PHAT 가중함수를 이용한다.

$$W(w) = \frac{1}{|X_1(w)X_2^*(w)|} \quad (4)$$

위의 식처럼 가중함수가 주어지면 이때의 식을 GCC-PHAT^[8]라고 한다.

이때 최종적으로 구해진 $R_{x_1x_2}(\tau)$ 가 최대값을 갖도록 하는 τ 값이 음원에서 두 마이크에 도달하는 지연시간으로 식(2)와 같이 지연시간을 구할 수 있다.

4. 신뢰성 높은 TDOA를 위한 신호처리

4.1 음성신호 분할

음성을 통해 정보를 전달하고자 하는 경우 보통 3초 이상의 시간이 소요된다. 이때 음성신호를 그대로 사용하지 않고 일정 시간단위로 분할하여 프레임 단위로 가공하여 처리한다. 그러나 이때 주의해야 할 점은 프레임 단위로 나눌 때 너무 시간을 짧게 잡을 경우 저주파 대역에 속해있는 신호들이 크게 왜곡될 우려가 있다.

보통 사람이 발생하는 음성 주파수가 200~3500Hz에 주로 분포하므로 가장 낮은 저주파대인 200Hz의 한 파장이 프레임 안에 모두 들어갈 수 있도록 프레임을 길게 잡아야 한다. 따라서 한 프레임의 길이는 1/200초 이상으로 하여야 하며, 0.05초 보다 짧게 잡을 경우 200Hz의 한 파장이 프레임 안에 들어가지 못해 신호가 왜곡된다.

4.2 비음성 구간 제거

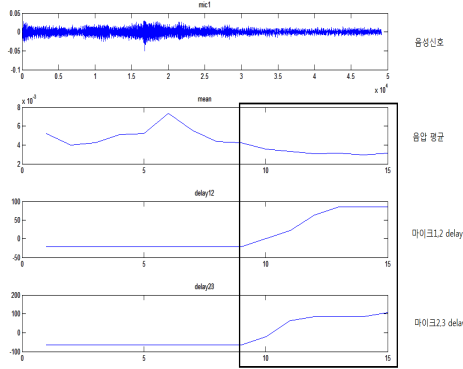
앞에서 설명했듯이 일정시간 단위로 분할된

프레임들은 많은 선택 기회를 제공하지만 음압이 낮은 비음성 구간에서는 TDOA값을 구할 경우 원하지 않는 값이 나오게 된다. 음성 구간에서도 음압이 상대적으로 낮아질 경우 잡음과의 분별력이 약해지게 되고, 신뢰할 수 있는 신호를 얻을 수 없게 된다.

(그림 3)에서 첫 번째는 음성신호를 나타내고, 2번째는 각 프레임의 음압을 나타낸 것이다. 3번째는 마이크 1,2 의 지연샘플을 나타낸 것이고, 4번째는 마이크 2, 3의 지연샘플을 나타낸 것이다.

음원의 크기가 감소함에 따라 일정하게 계산되던 지연샘플들의 값이 원하지 않는 값으로 바뀌는 것을 확인 할 수 있는데 이러한 에러는 프레임당 에너지에 임계치를 주어 처리할 수 있다.

(그림 3) 낮은 음압에 따른 TDOA 에러



(Figure 3) TDOA error due to low sound pressure

n번째 마이크에 입력되는 신호의 한 프레임당 에너지는 아래와 같이 구한다.

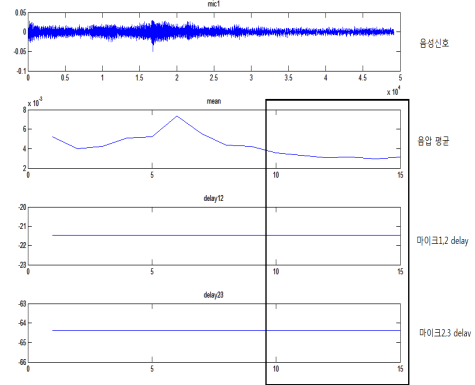
$$E_n = \int_{-\infty}^{\infty} |X(w)|^2 dw \quad (5)$$

여기서 입력신호의 음압 E_n 이 임계치 T보다 크면 음성구간으로, 작으면 비음성구간으로 분류하며 만일 비음성 구간일 경우에는 지연값을 계산하지 않거나 기존의 값을 유지한다. 이 방법은

노래인 데이터에도 동일하게 적용한다.

(그림 4)를 보면 임계치를 정해줌으로써 음압이 낮아져 잡음에 대한 분별력이 약해져도 마이크 1, 2에서 구한 도달지연시간과 마이크 2, 3에서 구한 도달 지연시간이 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

(그림 4) 임계치를 이용한 에러 제거

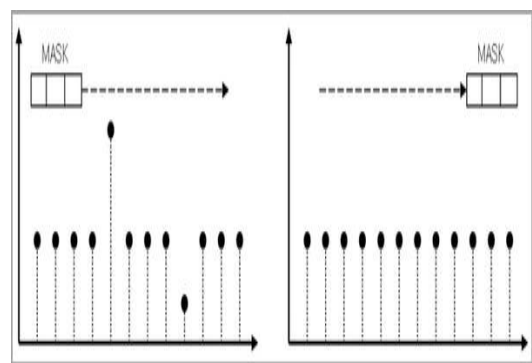


(Figure 4) Error removal using threshold

4.3 미디언 필터

음성신호는 잡음에 민감한 특성을 가지고 있으며, SNR이 낮아지는 구간에서 TDOA는 임펄스성 잡음의 형태를 보인다. 이러한 임펄스성 잡음을 제거하기 위하여 (그림 5)와 같은 미디언 필터를 사용한다.

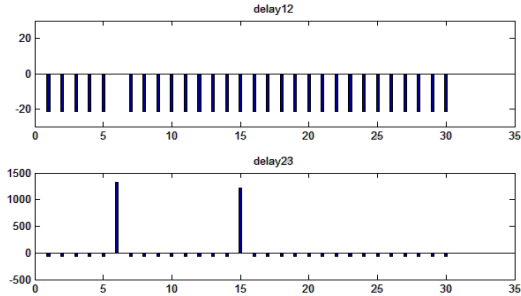
(그림 5) 미디언 필터



(Figure 5) Median filter

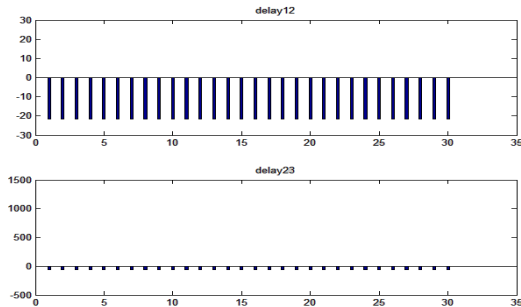
잡음으로 인해 생긴 TDOA값의 오차는 전형적인 임펄스성 잡음을 보이며 아래 그림과 같다.

(그림 6) (a) 마이크1,2의 지연샘플 데이터
(b) 마이크 2,3의 지연 샘플 데이터



(Figure 6) (a) Delayed sample data of the microphone1,2
(b) Delayed sample data of the microphone2,3

(그림 7) (a) 미디언필터로 필터링 후 마이크 1,2의 지연 샘플 데이터
(b) 미디언필터로 필터링 후 마이크2,3의 지연 샘플 데이터



(Figure 7) (a) Microphone1,2 sample data after the median filtering. (b) Microphone2,3 sample data after the median filtering.

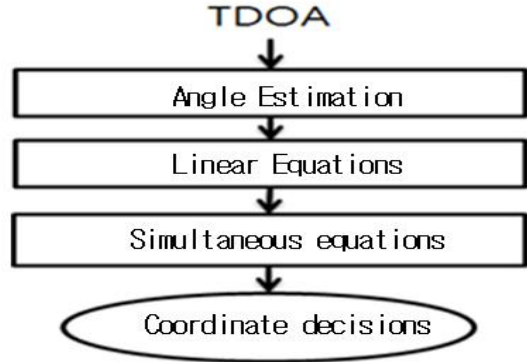
(그림 6)의 (a),(b)는 미디언 필터를 사용하기 이전의 데이터 값으로 부분적으로 추정 지연값이 튀는 현상을 살펴볼 수 있다. 이것은 잡음의 영향으로 나타나는 것으로 미디언 필터를 이용하여 해결할 수 있었으며 결과는 그(그림 7). (a), (b)와 같이 일정한 지연 값을 구할 수 있다.

5. 음원 위치 추정

5.1 음원 위치 추정 과정

본 논문에서는 3개의 마이크를 이용해 3개의 지연시간을 구하고, 이 중 두 개의 지연시간을 이용하여 음원의 위치를 추정하게 된다.

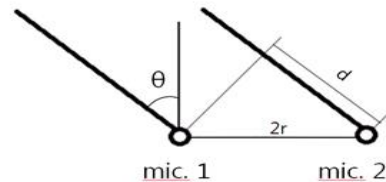
(그림 8) 음원 위치추정의 단계



(Figure 8) Steps for sound source position estimation

5.2 각도 추정

(그림 9) 지연시간을 이용한 각도 추정



(Figure 9) Angle estimation using delay time

음원으로부터 마이크에 들어오는 신호를 평면파라고 가정하면 (그림 9)와 같이 나타낼 수 있다.

θ 는 음원으로부터 마이크까지의 각도를 나타내고, d 는 신호가 마이크1,2에 들어왔을 때 지

연거리를 나타내며, $2r$ 은 마이크 사이의 거리를 나타낸다.

이를 이용하여 마이크와 음원간의 각도를 나타낸 것이 식(6)이다.

$$\theta = \sin^{-1} \frac{d}{2r} = \sin^{-1} \frac{c\hat{\tau}}{2r} \quad (6)$$

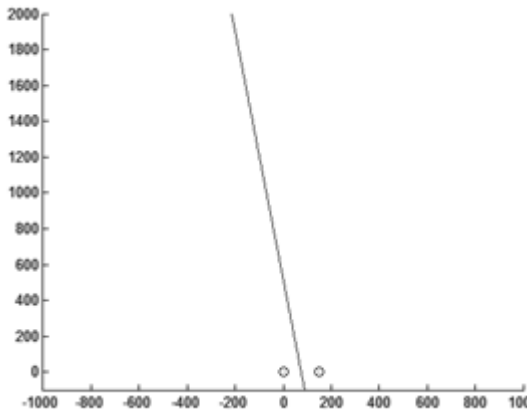
이때, θ 는 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 까지의 값을 가진다.

5.3 음원 좌표 추정

두 개의 마이크를 통해 1개의 각도를 추정할 수 있고 이렇게 추정된 각도를 통해 하나의 직선 방정식을 구할 수 있다. 3개의 마이크를 이용하면 3개의 직선 방정식이 나오는데, 이 중 2개의 직선 방정식의 교차점을 음원의 좌표로 추정한다.

직선의 방정식은 두 점의 좌표를 알고 있거나, 한 점의 좌표와 직선의 기울기를 알면 직선의 방정식을 구할 수 있다. 본 논문에서는 한 점의 좌표와 기울기를 알고 있을 때 직선의 방정식을 구하는 방법을 이용한다.

(그림 10) 추정된 직선의 예



(Figure 10) Example of estimated straight line

두 개의 마이크의 좌표는 알고 있다고 한다면, 직선이 항상 지나가는 점은 두 마이크의 중점을 지나게 된다. 마이크 1의 좌표를 (x_1, y_1) 이라 하고, 마이크 2의 좌표를 (x_2, y_2) 라 하면 중점의

좌표 (x_m, y_m) 은 다음과 같이 식(7)로 나타낼 수 있다.

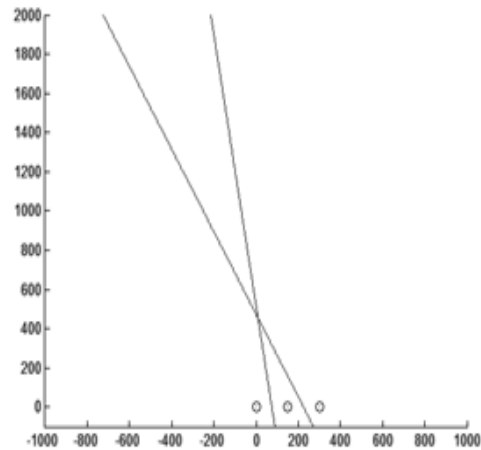
$$x_m = \frac{x_2 + x_1}{2} \quad y_m = \frac{y_2 + y_1}{2} \quad (7)$$

또한, 기울기는 식(6)에서 구한 θ 를 이용하면 계산할 수 있고, 한 점을 지나고 기울기를 알면 직선의 방정식을 구할 수 있다.

$$y - y_m = \tan^{-1} \theta (x - x_m) \quad (8)$$

따라서 세 개의 마이크를 이용하면 (그림 11)과 같이 음원의 위치를 추정할 수 있다.

(그림 11) 직선의 교점



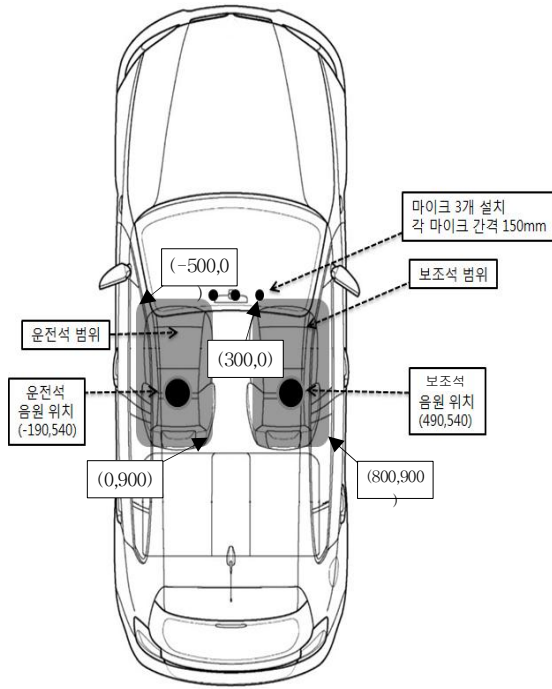
(Figure 11) The intersection of the linear equations.

6. 실험 및 결과

실험을 위하여 차량 내부에서 운전자석과 동승자석에서 각각 노래와 음성을 100번씩 녹음하였다. 즉, 운전자석과 동승자석 각각 200번씩 총 400개의 데이터를 수집하였다. 이때 사용한 다중 채널 사운드 카드는 m-audio fast-track C600을 사용하였고, 샘플링 주파수 16KHz, 샘플당 16비트로 양자화 하였다. 차량은 구형 투싼 차량을 사용하였으며 <표 1>에 자세한 실험조

건을 나타냈다. 음원의 길이는 3초, 프레임 사이
즈는 0.2초 이며, 식(5)의 임계치는 여러 실험 결
과 0.02로 하였다. 실험 1에서 4까지는 총 400개
의 데이터를 노래 200개, 음성 200개 각각에
GCC-PHAT방법과 상호상관방법을 적용하는 것
으로 분류하였다.

(그림 12) 자동차 내부 레이아웃



(Figure 12) Vehicle interior layout

마이크의 좌표는 운전석에서 가장 가까운 마
이크의 좌표를 (0,0)으로 하였으며, 단위는 mm
이다. (그림 12)에서 가장 좌측에 보이는 마이크
를 원점으로 삼고 우측으로 150mm씩 간격을
두어 두 개의 마이크를 배치하였다. 자동차라는
환경을 고려하면 너무 넓은 간격으로 마이크를
배치할 수 없기 때문에 자동차의 넓이를 고려하
여 150mm로 하였다. 자동차는 시동이 꺼진 상
태로 잡음이 없는 환경에서 실험하였으며 창문
은 닫은 상태로 하였다. 음원은 스피커에 목소리
를 녹음하여 실험하였으며, 노래는 저주파에서

고주파까지 분포되어있는 노래를 재생시켰다.

운전석에서 음원위치를 측정한 결과
(-190,540) 이었고, 운전자석의 음원 위치는
(490,540) 이었다. 운전석과 보조석의 위치는 실
제 좌석의 범위를 측정하여 음원의 위치가 해당
범위 안에 들어가면 인식에 성공한 것으로 하였
으며, 운전자석은 (-500,0)에서 (0,900), 동승자석
은 (300,0)에서 (800,900)까지 이다.

<표 1> 실험 조건

	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.4
TDOA method	Cross Correlation	Cross Correlation	GCC PATH	GCC PATH
Data Type	music	speech	music	speech
Bit	16bit	16bit	16bit	16bit
sampling frequency	16000 Hz	16000 Hz	16000 Hz	16000 Hz

<Table 1> The experimental conditions

<표 2> 1번째 실험 결과

	1	3	5	7	9	11
mask size	1	3	5	7	9	11
recognition rate	88	94	95	98	98	99
variance	125	105	100	75	75	75

<Table 2> 1st experimental result

<표 3> 2번째 실험 결과

	1	3	5	7	9	11
mask size	1	3	5	7	9	11
recognition rate	100	100	100	100	100	100
variance	40	50	45	30	20	20

<Table 3> 2nd experimental result.

<표 4> 3번째 실험 결과

mask size	1	3	5	7	9	11
recognition rate	98	99	99	99	99	99
variance	55	45	45	40	40	40

<Table 4> 3rd experimental result.

<표 5> 4번째 실험 결과

mask size	1	3	5	7	9	11
recognition rate	100	100	100	100	100	100
variance	25	5	5	5	5	5

<Table 5> 4th experimental result.

실험결과는 <표 2> - <표 5>에 보이며 이를 통해 자동차 환경에서 상호상관함수와 GCC-PHAT 방법의 성능과 미디언 필터의 마스크 크기에 따른 성능 변화를 확인할 수 있었다. 여기서 미디언 필터의 크기가 1일 경우에는 미디언 필터를 거치지 않은 경우와 같다. <표 2>에서 여러 주파수 대역의 음이 섞여 있는 노래의 경우에는 미디언 필터를 사용하지 않은 상호상관함수 방법의 인식률이 88%정도였으나 미디언 필터를 이용하여 신호를 가공하면 미디언 필터의 크기가 증가함에 따라 인식률이 증가하고, 시스템의 안정성을 나타내는 분산이 약 40% 정도 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 이때 분산값은 운전석과 동승자의 음원의 위치로부터 떨어져있는 정도를 나타낸다. 음성만을 이용하여 데이터를 수집한 실험2, 4의 경우에는 상호상관함수나 GCC-PHAT방법 모두 100%의 인식률을 보였다. 그러나 안정성을 나타내는 분산 값에서 상호상관함수는 미디언 필터를 쓰지 않았을 때는 분산이 40이었지만, 미디언 필터를 9까지 증가시켜 약 50%에 가깝게 분산이 줄어드는 것을 알 수 있었다. 그러나 GCC-PHAT방법의 경우에는 미디언 필터를 쓰지 않아도 낮은 분산값을 보였지만, 미디언 필터를 이용하면 분산이 5까지 줄어드는 것을 확인하였다. 결과적으로 자동차 환경

처럼 밀폐된 곳에서는 GCC-PHAT 방법이 상호상관함수보다 더 뛰어난 성능을 나타내며, 데이터에 반향이나 잡음이 추가되어 성능이 저하된 경우에는 미디언 필터를 통해 일정수준 성능 향상이 된다는 결과를 얻을 수 있었다.

7. 결론

본 논문에서는 차량 내부에서 음성인식 성능을 향상시켜 차량을 안정적으로 제어하기 위하여 사용하는 음원 위치추정 알고리즘의 개선방법을 제안하였다. 위치추정을 위한 알고리즘으로 TDOA를 이용하였으며, 시간영역에서 상호상관함수를 이용하여 위상차를 계산하여 지연시간을 구하는 방법과, 주파수 영역에서 지연시간을 구하는 GCC-PHAT 방법의 성능을 비교분석하였다. 또한 입력신호는 잡음에 민감한 특성을 보이기 때문에, 인식률을 향상시키기 위한 방법으로 미디언 필터를 이용하여 임펄스성 잡음을 제거하고, 음압이 낮은 구간을 제거하기 위해 한 프레임의 에너지에 임계치를 두고 비음성 구간과 음성 구간으로 입력신호를 구분하였다. 결과적으로 GCC-PHAT 방법은 상호상관함수에 비해 최고 10% 뛰어난 성능을 보여주었으며, 미디언 필터를 이용하여 신호처리를 하게 되면 상호상관함수의 경우 11%의 성능향상, GCC-PHAT방법의 경우 1%의 성능이 향상됨을 확인하였다. 본 논문에서는 정지된 자동차의 실내 반향을 고려한 실험을 진행했는데 이후에는 주행 중에 생기는 진동과 잡음에 대한 성능실험을 할 계획이며, 또한 운전자와 동승자가 동시에 발생하는 상황에 대처하기 위해서 다중 음원에 대한 위치추정방법에 대한 추가적인 연구가 필요하겠다.

References

[1] S. H. Kim, J. Y. Ahn, "Speech Recognition System in Car Noise Environment", DMC, vol 10, No 1, 121-127, 2009.

[2] J. W. Choi, H. S. Park, K. H. Kim, "The Human Vehicle Interface System for Integrating and Managing the In-Vehicle Interactions with IT Devices," JESK.

vol 30, No.5, 651-657, 2011.

[3] S. M. Hwang, Y. J. Park, "Sound Source Localization Using HRTF Database," KAIST, 2005.

[4] Y. J. Park, M. W. Lee, S. H. Min, Y. H. Han, "Sound Localization based on LP Residual and Hilbert Transform for Intelligent Robot," KIIS vol. 18, No 2 ,2008.

[5] W. Rhee, J. S. Choi, "Experimental Studies for Noise Source Positioning Using TDOA Algorithm," KSNVE, 2006.

[6] B. Jang, D. Y. Sim, C. D. Kim, C. B. Lee, K. H. Cga, "A Study for Estimating Absolute Position of Sound Source Using Reference Microphone and Beamforming Method," KSPC ,1997.

[7].C. H. Knapp, G. C. Carter, "The generalized correlation method for estimation of time delay," IEEE vol. ASSP-24, 320-327, 1976.

[8]. B. C. Park, K. D. Ban, K. C. Kwak, H. S. Yoon, "Performance analysis of GCC-PHAT-based sound source localization for intelligent robots," KROS, 2007.

최 홍 섭



1985년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1987년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1994년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
 1995년 ~ 현재 : 대진대학교 공과대학 전자공학과 교수

관심분야 : 멀티미디어 통신 및 음성 및 음향 신호 처리, 멀티미디어 시스템 등

이 상 현



2011년 : 대진대학교 전자공학과(학사)
 2014년 : 대진대학교 전자공학과(석사)
 2012년 ~ 현재 : (주)삼안 연구개발원

관심분야 음성 신호처리, 영상신호 처리, 디지털 신호처리