

지능형 서비스 로봇을 위한 원거리 음원 추적 기술

이지연(ICU), 한민수(ICU)

<차 례>

- | | |
|----------------------|---------------|
| 1. 서론 | 3.4 지연 시간 계산 |
| 2. 음원 추적 알고리즘 | 3.5 방위각 추측 |
| 2.1. 음소 발생정보를 이용한 방법 | 4. 실험 결과 |
| 2.2. 음소 순서정보를 이용한 방법 | 4.1 실험 환경결과 |
| 3. 음원 추적 알고리즘 | 4.2 잡음 제거 |
| 3.1 칼만 필터링 | 4.3 방위각 추측 결과 |
| 3.2 음원 추출 | 5. 결론 |
| 3.3 음원 발생 구간 설정 | |

<Abstract>

Sound Source Localization Technique at a Long Distance for Intelligent Service Robot

Ji-Yeoun Lee, Min-Soo Hahn

This paper suggests an algorithm that can estimate the direction of the sound source in real time. The algorithm uses the time difference and sound intensity information among the recorded sound source by four microphones. Also, to deal with noise of robot itself, the Kalman filter is implemented.

The proposed method can take shorter execution time than that of an existing algorithm to fit the real-time service robot. Also, using the Kalman filter, signal ratio relative to background noise, SNR, is approximately improved to 8 dB. And the estimation result of azimuth shows relatively small error within the range of ± 7 degree.

* Keywords: Human-machine interaction, Kalman filter, Interaural cues, Azimuth.

1. 서론

지능형 로봇은 네트워크 기반을 활용하여 정보 도우미 및 공공 도우미로서의 역할을 함에 따라 주위 상황을 인지하고 판단하는 능력이 필요하다. 그때, 가장 중요한 감각 매체로서는 시각 및 청각을 들 수 있고, 위의 두 가지 감각은 로봇의 필수적인 감지 기능이다. 로봇의 시각과 청각은 서로 보완적인 역할을 하지만, 청각 정보는 어두운 곳이나 직접 시야로 보이지 않는 곳, 원거리에서도 음향을 채취할 수 있는 이점이 있다. 또한 인간이나 로봇에게 위험한 사건들은 굉음을 동반하는 경우가 많기 때문에 청각은 인간과 로봇의 자신보존에도 중요한 역할을 한다. 따라서 로봇의 청각 정보를 이용한 음원 발원처 위치 추적은 로봇으로 하여금, 로봇의 도움이 필요한 사람이나 개체 근처로 이동하여 주위 상황을 판단하고 적절한 대응조치를 취하게 한다.

과거, 음원 추적은 정숙한 환경에서, 근거리에서, 두개의 마이크로폰을 사용하는 시스템으로 주로 연구되어왔다. 최근 실험용 또는 장난감 로봇에 탑재하여, 인간과 로봇의 자연스러운 상호 작용을 목적으로, 사용자의 호출음성이나 박수소리를 입력받아 인식함으로써 카메라나 키보드와 같은 입력 장치의 대응으로 활용할 수 있도록 하는 자동 인터페이스 구현을 위한 연구가 진행되고 있다.

음원 추적 시스템은 잡음이 없거나 비교적 조용한 실험실 환경에서는 좋은 성능을 나타낸다. 그러나 이를 실용화하여 실제 현장에서 사용할 경우에는 여러 가지 잡음 요인들에 의하여 시스템 성능이 현저히 저하된다. 로봇에 실장 할 경우, 가장 문제가 되는 것이 로봇 본체의 잡음이다. 마이크로폰의 입력으로 우리가 원하는 신호뿐만 아니라 로봇의 모터 구동소리, 초음파소리, CPU, 팬 소리, 바퀴소리 등이 동시에 들어가기 때문에, 학습 시에 우리가 원하는 신호만으로 생성한 기준 패턴과는 다른 형태가 된다. 따라서 이처럼 환경 변화에 민감하지 않은 시스템의 개발이 잡음 제거 알고리즘의 궁극적 목표다.

따라서 본 논문에서는 로봇의 몸체 둘레에 가장 음원 감지가 잘되는 네 개 마이크로폰들의 위치를 선정하고, 각 마이크로폰이 감지하는 음원의 강도 및 시간차를 분석하는 한편 로봇 본체 잡음을 감소시킨 후 음원의 방향을 계산한다. 음원의 위치가 인지되면 로봇은 그 위치로 이동하는 동시에 실시간으로 음원 위치를 지속적으로 확인하고 갱신하여 시스템의 신뢰도를 높인다.

실시간, 높은 신뢰도로, 잡음을 제거하고, 음원의 방향을 지속적으로 확인하는 알고리즘을 구현하기 위해서 각각의 장에서 제안한 알고리즘을 설명한다. 제 2장과 제 3장에서 각각 잡음 제거 알고리즘과 제안된 음원 추적 알고리즘에 대해 설명하고, 제 4장에서 실험환경 및 성능 평가 결과에 관해 언급하고, 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. 잡음 제거 알고리즘

로봇 본체의 잡음은 우리가 원하는 신호에 모터구동소리, 바퀴와 지면의 상호 작용, 기계에 의한 회전소리, 초음파소리 등이 가산적으로 첨가되는 가산잡음으로 볼 수 있다. 가산잡음을 제거하기 위해 입력 신호의 무음구간에서 평균치를 계산하여 잡음이 가산된 신호구간에서 이 값을 차감하는 스펙트럼 차감법이나 칼만 필터를 사용한다. 칼만 필터는 최소자승법을 사용해서 실시간으로 잡음 운동 방정식을 추측하여 시간에 따른 방향 (time-dependent state vector)을 추적하는 효율적인 재귀 계산법이다. 즉 칼만 필터는 하나의 시스템이 시간에 따른 변화를 적절하게 예측할 수 있도록 잡음으로부터 신호를 찾아내기 위해 사용된다.

본 논문에서는 로봇 본체의 잡음에 대하여, 실험적으로 스펙트럼 차감법 보다 더 우수한 성능을 보이는 칼만 필터를 사용하였다. 또한 실시간으로 잡음 처리를 위해서는 칼만 필터를 적용한 방법을 사용해야한다.

<표 1>은 칼만 필터의 수식을 요약한 것이다. 상태 방정식 (1)에서 s 는 최적화를 하고자 하는 상태 변수를 의미하고, 계수 A 는 한 단계에서의 상태 변수와 다음 단계에서의 상태 변수를 연결하는 변환계수를 표현한다. w 는 n 단계에서 상태 변수 s 의 참값과의 차이 값 또는 시스템 오차이다. w 는 시스템의 제작 시부터 알고 있는 참값에 대한 표준편차로써 " Q_w "라는 변수로 적용된다. 관측 방정식 (2)에서 y 는 관측 값이고 이는 상태 변수 s 와 변환 계수 C 에 의해 표현되며, ν 는 관측 값 y 와 관측 참값과의 오차이다. ν 는 w 와 마찬가지로 개개의 참값을 알 수는 없고 관측 참값에 대한 분산인 " Q_ν " 라는 변수로써 칼만 필터 안에서 사용된다.

<표 1> 칼만 필터 수식

State Equation	$s(n) = A(n-1)s(n-1) + w(n)$	(1)
Observation Equation	$y(n) = Cs(n) + \nu(n)$	(2)
Initialization	$\hat{s}(0 0) = E[s(0)], P(0 0) = E[s(0)s^T(0)]$	(3)
Computation	for $n = 1, 2, \dots$	(4)
	$\hat{s}(n n-1) = A(n-1)\hat{s}(n-1 n-1)$	
	$P(n n-1) = A(n-1)P(n-1 n-1)A^T(n-1) + Q_w(n)$	
	$K(n) = \frac{P(n n-1)C^T}{CP(n n-1)C^T + Q_\nu(n)}$	
	$\hat{s}(n n) = \hat{s}(n n-1) + K(n)(y(n) - C\hat{s}(n n-1))$	
	$P(n n) = (I - K(n)C)P(n n-1)$	

$$A(n) = \begin{pmatrix} a_n(1) & a_n(2) & \cdots & a_n(p-1) & a_n(p) \\ 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$a_n(k)$: n번째 Linear Prediction Coefficient

$$w(n) = \begin{pmatrix} w(n) \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

$w(n)$: 여기 신호(excitation source)

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ \cdots \ 0]$$

$\nu(n)$: the additive white noise

$Q_w(n)$: excitation power

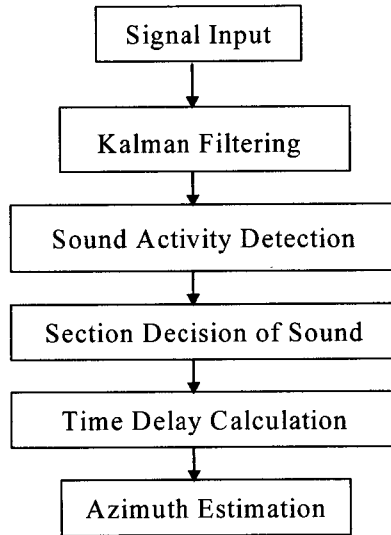
$Q_\nu(n)$: power of additive noises

$K(n)$: Kalman gain

따라서 <표 1>에서 요약된 칼만 필터는 시스템 출력 값과 새로운 입력 값을 이용하여 새로운 최적 값을 계산하는 관측 갱신 알고리즘의 한 형태이다.

3. 음원 추적 알고리즘

실제 상황에서 로봇이 음원을 듣고 방향을 설정하고 그 위치로 움직이기 위해서는 로봇의 실행시간을 고려해야 한다. 신호의 강도를 이용하여 강도가 큰 순서대로 두 개의 마이크로폰을 결정하고, 그 결정된 채널 사이에서 음원이 발생되었다고 가정한다. 그 다음, 그 채널에 대해서만 지연 시간을 계산한다. 그러므로 모든 마이크로폰에 대해 시간 지연을 계산하는 기존의 방법보다 실행시간 면에서 빠른 방법이라고 할 수 있다.



<그림 1> 음원 추적 알고리즘 순서도

3.1 칼만 필터링

로봇에 실장 할 경우, 가장 문제가 되는 것이 로봇 본체의 잡음이다. 마이크로 폰의 입력으로 우리가 원하는 신호뿐만 아니라 로봇의 진동, 모터 구동소리, CPU, 팬 소리 등이 동시에 들어가기 때문에, 학습 시에 우리가 원하는 신호만으로 생성한 기준 패턴과는 다른 형태가 된다.

본 논문에서 사용하는 로봇의 경우, 로봇의 뒤쪽에 위치하는 마이크로폰의 잡음 레벨이 로봇 앞쪽에 위치하는 마이크로폰보다 더 크다. 왜냐하면 모터, CPU, 팬, 초음파 기기들이 로봇의 뒤쪽에 위치하기 때문이다. 따라서 여러 개의 마이크로폰들은 위의 기기의 위치에 따라 서로 다른 잡음 레벨을 가진다. 그래서 동시에, 실시간으로, 마이크로폰 각각에 대해서 칼만 필터를 적용했다.

3.2 음원 추출

식(5)의 단시간 에너지를 이용하여 음원을 검출한다. 정확한 음원 구간을 검출을 하기 위한 에너지 문턱 값은 여러 번의 실험을 통해 결정된 평균 실험값으로 각각 마이크로폰에 동일하게 설정하였다. 비록 마이크로폰 각각의 잡음 레벨은 다르지만 잡음 레벨의 차이가 크지 않기 때문에 마이크로폰마다 문턱 값을 조절할 필요는 없다고 생각한다.

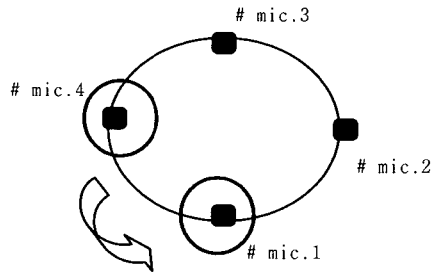
$$E_n = \sum_{m=n-N+1}^n x^2(m) \tag{5}$$

문턱값 : $10 \times \log_{10}(E_n)$

3.3 음원 발생 구간 설정

발생한 음원의 구간 설정은 식(5)의 단 구간 에너지를 이용하였다. 그것을 이용하여 사용된 네 개의 마이크로폰 중에서, 강도가 가장 큰 순서대로 두 개의 마이크로폰이 먼저 선택된다. 그리고 그 두 개의 마이크로폰사이의 구간에서 음원이 발생되었다고 가정되어진다.

예를 들어서, <그림 2>와 같이, 우선 네 개의 마이크로폰들의 에너지를 계산한다. 마이크로폰 1번과 4번의 강도가 가장 크다고 결정되면, 그 사이의 구간에서만 음원이 발생되어졌다고 가정하고 음원 발생 구간을 결정한다.



<그림 2> 음원 구간의 설정 방법

3.4 지연 시간 계산

음원이 발생한 방위각을 결정하기 위해서 두 신호 사이의 지연 시간을 알아야 한다. 지연시간의 계산 방법은 과거 오래전부터 많이 연구되어왔다. 그러나 상호상관(cross correlation)방법이 가장 보편적으로 쓰인다. 다른 방법들과 비교하여 계산적으로 간단하고 능률적이기 때문이다[3].

두 마이크로폰 사이의 지연시간은 식(6)와 같이 정규화된 상호상관 방법(the normalized cross-correlation method)에 의해서 계산된다.

$$\bar{\tau} = \arg \max \{ \bar{\phi}_{ij}(d) \} \quad (6)$$

$$(i, j) = (0, 1), (1, 2)$$

$$\bar{\phi}_{ij} = \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{\sum_{k=-l}^l x_1(k) x_2(k+d)}{\sqrt{\sum_{k=-l}^l x_1^2(k) \sum_{k=-l}^l x_2^2(k)}}$$

$$k = 0, 1, 2N-1$$

$$d : \text{value from } -10.000 \text{ to } 10.000$$

위의 식에서 $x_1(k)$ 과 $x_2(k)$ 는 신호 강도에 의해 결정된 두 개의 마이크로폰으로 들어오는 신호이다. 이 때, 각각 마이크로폰간의 도착 지연 시간은 식 (7)과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$|\tau| \leq D/C \tag{7}$$

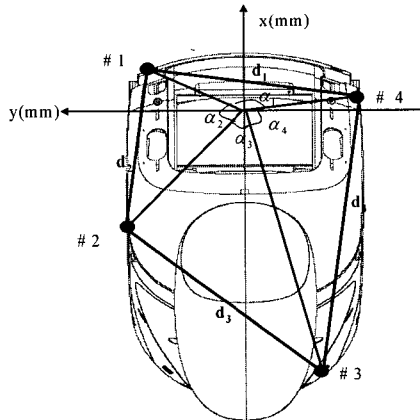
D : 두개의 마이크로폰 사이의 거리

C : 소리 속도

3.5 방위각 추측

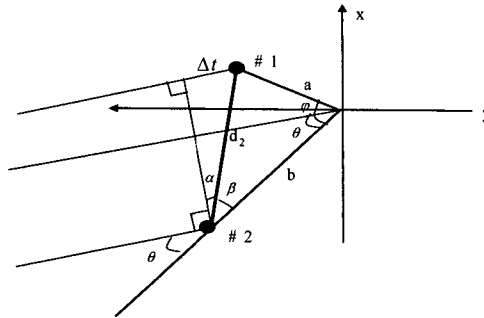
<그림 3>은 본 논문에서 사용한 로봇의 마이크로폰 배열을 보여준다. 이 그림은 로봇을 위쪽에서 내려다보았을 때의 그림이다. x(mm)라고 쓰인 윗부분이 로봇의 앞쪽이고, 그 아랫부분이 로봇의 뒤쪽 모습이다. 각각 마이크로폰들의 위치는 다음과 같다. 이것은 (x축, y축, z축)을 의미한다. 즉 마이크로폰 1번, 2번, 3번, 그리고 4번의 위치는 (65, 142, 315), (-233, 176, 291), (-419, -117, 291), (7, -174, 291)이다. 그리고 위의 좌표를 삼각 함수 공식에 응용하여 두개의 마이크로폰 사이의 각도와 거리를 계산한다.

<그림 3>에서, d_n 과 α_n , ($n = 1, 2, 3, 4$)은 각각 거리와 각도를 의미한다.



<그림 3> 마이크로폰들의 배열

<그림 4>는 마이크로폰 1번과 2번사이의 방위각 추측의 예를 보여준다.



a : 15.62 cm, b : 29.2 cm

d_2 : 29.99 cm, θ : 방위각

Δt : 시간 차이(time difference)

<그림 4> 방위각의 계산

<그림 4>에서, 마이크론의 중심에서 음원까지의 거리가 b보다 훨씬 길다고 가정할 때, 마이크론에 들어오는 음원의 파장은 평면파라고 가정할 수 있다.

이 때, 지연 시간은 식(8)로써 근사화 할 수 있다. 따라서 식 (8)를 가지고 현재 음원이 발생한 방위각을 계산할 수 있다. 또한 식(8)를 응용하여, 모든 채널사이에서의 방위각을 계산할 수 있다.

$$\theta = 180 - 90 - \sin^{-1}\left(\frac{\Delta t \times \nu_s}{S_{\text{samplingrate}} \times d_2}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{a}{d_2} \sin \rho\right)$$

ν_s : 22°C 에서 345 m/s (8)

$S_{\text{samplingrate}}$: 16 kHz

이 식에서 계산 된 방위각은 현재 음원의 구간에 따라서 최종 방위각으로 맞추어진다. <그림 3>에서 마이크론 1~2구간은 0도~77.53도, 2~3 구간은 77.53도~130.2도, 3~4 구간은 130.2도~206.9도, 4~1구간은 206.9도~360도까지의 방위각범위 내에서, 현재 음원의 위치에 따라, 최종 방위각 각도가 결정된다.

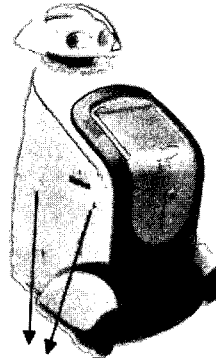
4. 실험환경과 결과

4.1 실험환경

실험은 집안 환경과 비슷하게 꾸며놓은 실험실에서 행해졌다. 음원은 박수소리이고 4m에서 사람이 실제로 친 소리로 실시간으로 녹음되었다. 또한 그 소리는

16 kHz로 샘플링 되고 16 bit로 양자화 되었다.

<그림 5>는 이 실험에서 음원 추적을 위해 사용한 로봇을 보여준다. <그림 5>에서 보이듯이, 여덟 개의 마이크로폰들이 로봇 몸통에 <그림 3>의 배열과 같이 위치되어 있다. 본 실험에서는 360도를 포함하면서 적당한 위치에 있는 네 개의 마이크로폰을 선택하여 이용하였다.



마이크로폰

<그림 5> 로봇 “웨버”

음원은 마이크로폰들의 높이보다 약간 높은 위치에서 30도의 간격을 두면서, 즉 12개의 위치에서 3번씩 발생되었다. 로봇의 키가 약 1m 정도 되기 때문에, 음원은 대부분 마이크로폰들의 위치보다 조금 더 높은 위치에서 발생되었다.

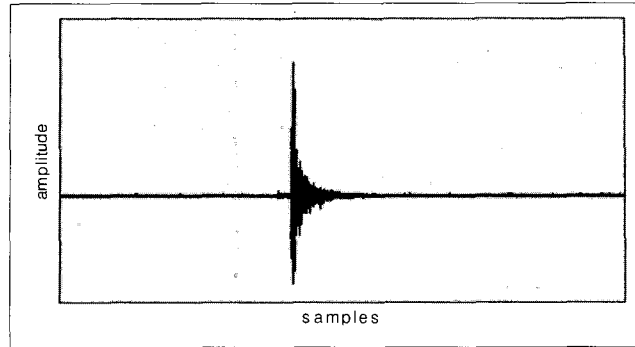
4.2 잡음 제거 결과

<그림 6>과 <그림 7>은 네 번째 마이크로폰으로 들어오는 박수소리의 칼만 필터 처리 전과 후의 잡음 제거 모습을 각각 보여준다. 잡음 제거의 정도는 수식 (9)의 신호 대 잡음 비(SNR)로써 측정할 수 있는데, 이것은 신호 대 잡음의 상대적인 크기를 재는 것으로서 대개 데시벨이라는 단위가 사용된다. <그림 6>에서 신호 대 잡음 비는 14.05dB 이고, <그림 7>에서는 22.33dB 이다. 따라서 약 8dB 정도 개선되었음을 알 수 있다.

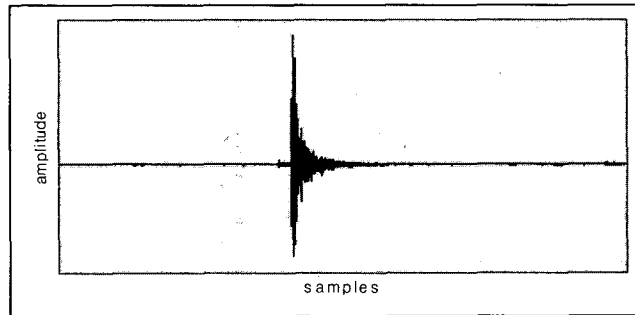
$$S/N = 20 \log_{10} (P_S/P_N) \quad (9)$$

P_S : 들어오는 신호의 세기

P_N : 들어오는 잡음의 세기



<그림 6> 칼만 필터 처리 전



<그림 7> 칼만 필터 처리 후

4.3 방위각 추측 결과

본 실험에서는 각각의 위치에서 실시간으로 박수를 3번씩 쳐서 녹음된 박수소리 음원에 대해, 도착 지연 시간을 구하고 방위각으로 환산하여, 평균하여 원래의 각도와 비교하여 오차를 계산하였다. <표 2>는 실험 성능을 보여준다.

<표 2>에 나타난 바와 같이 본 논문의 음원 추적 알고리즘은, 평균 오차범위 7도 안에서 거의 만족스러운 결과를 보였음을 확인할 수 있다. 이 결과는 Jie Huang[1][2][8][14]의 연구와 비교하여 비슷한 성능을 보인다. 특히 본 논문의 결과는 로봇에 실제 적용한 연구 결과라는데 의의가 있다고 하겠다. 또한 단회 최대오차범위는 15도이며, 이 오차는 로봇의 카메라가 커버할 수 있는 정도의 오차범위에 속한다.

오차는 크게 다음과 같은 세 가지 요인에 의해 발생되어졌다고 생각된다. 첫 번째, 알고리즘 관점에서, 상호 상관 방법에 의한 부정확한 지연시간 계산이다. 그리고 매우 대략화한 방위각 공식이다. 또한 본 논문에서 제안한 알고리즘은 음원의 고도를 고려하지 않았다. 두 번째, 소리의 반사와 회절 관점에서, 본 알고리즘은 로봇 몸체의 방 안에서의 반사 구조를 고려하지 않았다. 마지막으로, 하드웨어

관점에서, 로봇 중앙부분에 위치한 캐스터에 의해서, 로봇이 돌때 각도 측면에서 오차가 발생한다.

위의 세 가지 측면에서의 오차 요인을 대처한다면, 원거리에서도 음원 추적의 성능을 보장할 수 있을 것이다.

<표 2> 방위각 추측 결과

Original degree	Average degree (in 4m)	Average error
0	0.00	0.00
30	36.19	6.19
60	55.27	4.73
90	86.52	3.48
120	124.66	4.66
150	144.06	5.94
180	183.69	3.69
210	216.24	6.24
240	244.66	4.66
270	272.45	2.45
300	292.05	7.95
330	336.14	6.14

5. 결 론

본 논문은 네 개의 마이크로폰을 사용하여, 음원의 강도와 시간 지연 정보에 기반을 둔 음원 추적 기술을 제안하였다. 그리고 칼만 필터가 로봇 본체의 잠움에 대처하기 위해 구현되었다. 이것은 정확한 지연 시간의 추측을 위해 필요하다.

음원 추적 알고리즘은 오차범위 7도 안에서 거의 정확한 결과를 보였다. 그러나 음원의 높이와 실험 환경이 음원 위치를 판단하는데 큰 영향을 미친다는 연구 보고[1]가 된 바와 같이 잔향, 메아리 환경과 음원의 고도를 고려하여 개선한다면 좀 더 나은 성능을 기대할 수 있을 것이다.

본 논문에서 연구하는 음원 추적 알고리즘의 실제 적용 시나리오는, 공공 서비스 대상자가 음성이나 박수로 로봇을 호출 할 경우 호출자를 찾아가기, 물건이 떨어져 파열음을 낼 경우 그곳으로 이동하여 상황판단 및 대응조치하기, 비상벨이나 비정상적인 음향을 감지하여 그곳으로 이동한 후 공공 서비스 조정실에 비디오 및 기타 정보를 네트워크로 전달하고, 조정실의 명령을 되받아 수행하는 것 등을 들을 수 있다.

본 논문 연구는 네트워크를 기반으로 한 지능형 로봇 기술 개발의 기초 연구

로 수행되었으며, 주위 상황을 인지하여 판단하는 능력을 가진 정보 도우미 및 공공 도우미 등의 서비스 로봇의 기능 강화에 큰 역할을 할 것이다.

음원 추적 기술은 인간과 로봇의 상호작용에 유용할 것이며, 음원 분류와 사용자 확인 기술의 기반을 마련하는 역할을 수행할 것이다.

참고 문헌

- [1] J. Huang, T. Supaongprapa, I. Terakura, et al., "Mobile robot and sound localization", *Proceedings of the 1997 IEEE/RSJ International Conference on IROS '97*, Vol. 2, pp. 7-11, Sep. 1997.
- [2] J. Huang, N. Ohnishi and N. Sugie, "Spatial localization of sound sources : azimuth and elevation estimation", *Proceedings of the IEEE Conference on IMTC/98*, Vol. 1, pp. 18-21, May 1998.
- [3] Ji-Yeoun Lee, Su-young Ji, Tae-Yeun et al., "Real-time sound localization using time difference for human-robot Interaction", *16th IFAC 2005 World Congress*, Prague, Jul. 2005.
- [4] 이지연, 이병화, 한현배, 한민수, "지능형 서비스 로봇을 위한 음원 추적 기술", *한국음성과학회 가을학술대회*, pp. 103-108, 2004.
- [5] J. M. Valin, F. Michaud, B. Hadjou, et al., "Localization of simultaneous moving sound sources for mobile robot using a frequency-domain steered beamformer approach", *IEEE International Conference on ICRA '04*, Vol. 1, Apr.-May 2004.
- [6] S. Jeong, M. Hahn, "Car noise reduction by Kalman filtering," *Proc. ICSP-2001*, Daejeon, 2001.
- [7] D. Nguyen, P. Aarabi, A. Sheikholeslami, "Real-time sound localization using field-programmable gate arrays", in *Proc. ICASSP 2003*, Vol. 2, Apr. 2003.
- [8] J. Huang, K. Kume, A. Saji, M. Nishihashi, et al., "Robotic spatial sound localization and its 3D sound human interface", *Proceedings of the First International Symposium on Cyber Worlds*, pp. 191-197, Nov. 2002.
- [9] F. Asono, H. Asoh and T. Matsui, "Sound source localization and signal separation for office robot JiJo-2", *Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems MFI '99*, pp. 243-248, Aug. 1999.
- [10] M. John, W. Stefan and E. Harry, "Auditory robotic tracking of sound sources using hybrid cross-correlation and recurrent networks," *Proceedings of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on IROS '05*, Vol. 1, Aug. 2005.
- [11] B. Erik, S. Joaquin, "Sound source localization through active audition," *Proceedings of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on IROS '05*, Vol. 1, Aug. 2005.
- [12] K. Makoto, et al., "Audio servo for robotic systems with Pinnae", *Proceedings of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on IROS '05*, Vol. 1, Aug. 2005.
- [13] N. Kazuhiro, et al., "Sound source tracking with directivity pattern estimation using a 64ch

- microphone array”, *Proceedings of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on IROS '05*, Vol. 1, Aug. 2005.
- [14] J. Huang, N. Ohnish and N. Sugie, “Modeling the precedence effect for sound localization in reverberant environment”, *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Jun. 1996.

접수일자: 2005년 12월 5일

게재결정: 2006년 3월 20일

▶ 이지연(Ji-Yeoun Lee)

주소: 305-732 대전광역시 유성구 문지동 103-6 한국정보통신대학교

소속: 한국정보통신대학교(ICU) 음성/음향 정보 연구실

전화: 042) 866-6206

E-mail: jyle278@icu.ac.kr

▶ 한민수(Min-Soo Hahn) : 교신저자

주소: 305-732 대전광역시 유성구 문지동 103-6 한국정보통신대학교

소속: 한국정보통신대학교(ICU) 음성/음향 정보 연구실

전화: 042) 866-6123

E-mail: mshahn@icu.ac.kr