한국소음진동공학회 2012년 추계학술대회논문집, pp. 801~802

회전형 마이크로폰 어레이를 이용한 방향 검지 기법
Sound Source Localization using Rotating Microphone Array

이상문† · 박영진* · 박윤식**
Sangmoon Lee, Youngjin Park, Youn-sik Park

1. 서 론

음원 방향 검지(Sound Source Localization, SSL) 기술은 마이크로폰을 통해 측정된 음향 신호를 이용하여 음원의 방향을 추정하는 기술로써 지능로봇[1], 모니터링[2], 화상 회의[3] 시스템 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 지능로봇에 적용되는 방향 검지 기술의 경우, 로봇과 사람간의 상호작용을 위하여 필요한 기본이 되는 기술이다. 본 연구는 지능형 로봇 중에서 미래 인간형 로봇에 적용이 가능한 음원 방향 검지 기술에 관심을 가진다.

이전 연구자에 의해 제안된 인간형 로봇에 적용이 가능한 방향 검지 기술로는 상호상관관계함수(Generalized Cross Correlation, GCC)에 기반한 기술[4]과 머리전달함수(Head-Related Transfer Function, HRTF)에 기반한 검지 기술[5] 등이 있다. 특히, 언급된 두 기술은 사람의 외이 형상과 2개의 마이크로폰으로 구성된 로봇 인공귀 한 쌍을 로봇 머리의 좌측, 우측면에 배치된 하드웨어 구성을 이용한 음원 방향 검지 기술이다. 본 연구에서는 이러한 기존에 제안된 로봇 인공귀 기술과 달리 로봇 머리의 우측면에서 일정한 각속도와 회전반경을 가지며 회전하는 마이크로폰 한 개와 좌측면에 고정된 마이크로폰 한 개로 구성된 회전형 마이크로폰 어레이를 이용한 방향 검지 기법을 제안한다. 방향 검지 대상이 되는 음원은 3차원 공간 내에 존재하는 음원으로 음원의 수평각과 고도각만을 추정하는 것을 목표로 한다. 음원의 수평각과 고도각은 vertical polar coordinate에 의해 정의된다.[6]

† 교신저자; 정회원, 한국과학기술원 기계공학과
E-mail : smansl@kaist.ac.kr
Tel :042-350-3076, Fax :042-350-8220
* 한국과학기술원 기계공학과
** 한국과학기술원 기계공학과

2. 본 문

2.1 회전형 마이크로폰 어레이 구성

서론에서 간략히 언급한 회전형 마이크로폰 어레이의 구성을 Figure 1에서 확인할 수 있다.

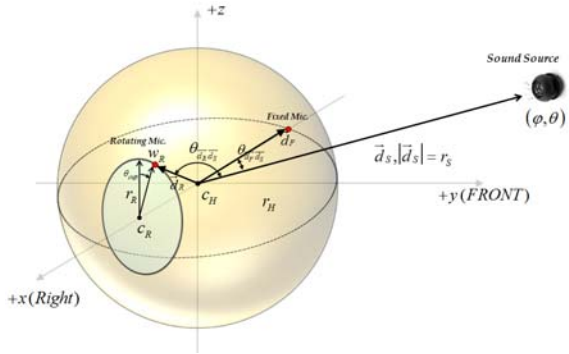

Figure 1 Schematic Diagram of a rotating microphone array system

로봇 머리는 r_H 반경을 가진 구형상이라 가정하였고 우측면(+x방향)에 위치한 마이크로폰은 x좌표값 $\sqrt{r_H^2 - r_R^2}$인 구 표면에서 일정한 회전반경 r_R와 각속도 w_R를 가지며 회전하며 좌측면(-x방향)에 위치한 마이크로폰은 x좌표값 $-r_H$인 구 표면에 위치하고 있다. 음원의 방향은 vertical polar coordinate에서 정의된 수평각(ϕ)과 고도각(θ)에 의해 정의된다. 로봇의 머리 중심으로부터 회전하는 (고정된) 마이크로폰으로의 방향 벡터는 $\overrightarrow{d_R}(\overrightarrow{d_F})$이며 음원으로의 방향 벡터는 $\overrightarrow{d_S}$이다. 각 마이크로폰으로의 방향 벡터와 음원으로의 방향 벡터 사이각은 $\theta_{\overrightarrow{d_R}\overrightarrow{d_S}}(\theta_{\overrightarrow{d_F}\overrightarrow{d_S}})$으로 나타낸다. 회전하는 마이크로폰의 회전각은 +z축을 기준으로 정의되며 θ_{shift}로 표현한다. 머리 중심으로부터 음원까지의 거리는 r_S이며 $r_S \gg r_H$ 조건을 만족한다고 가정한다.

2.2 Ray-Tracing Method를 이용한 채널간 시간지연패턴 예측

본 연구에서 제시하는 방향 검지 기법은 회전형 마이크로폰과 고정된 마이크로폰 사이에서 측정되는 채널간 시간지연패턴을 기반으로 한다. 기존에 제시된 다수의 방향 검지 기법은 고정된 마이크로폰과 고정된 또는 slowly moving하는 음원을 대상으로 방향 검지가 이루어지지만 본 연구는 slowly rotating하는 마이크로폰 어레이에서 측정되는 신호를 이용하여 고정된 음원의 방향을 검지하는 것이 목적이다. 이를 위하여 Ray-Tracing Method[7]를 이용하여 회전각에 따라 변하는 시간지연패턴을 구할 수 있다. 예측되는 채널간 시간지연패턴은 음원의 방향에 의해 결정되며 $tdt(\theta_{shift}|\phi_s,\theta_s)$로 표현한다.

2.3 음원 방향 검지 지표

2.3에서는 2.2에서 구해진 채널간 시간지연패턴에 기반한 방향 검지 기법을 제안한다. 회전하는 각속도와 회전반경의 곱이 크지 않기 때문에 회전에 의해 발생하는 도플러 영향은 무시할 수 있다고 가정한다. 회전하는 마이크로폰 신호를 $x(t)$라고 한다면 특정한 회전각(θ_{shift})을 지날 때 측정되는 신호 $x_{\theta_{shift}}(t)$는 almost time invariant 신호로 가정할 수 있으므로 식(1)과 같이 표현할 수 있으며 고정된 마이크로폰 신호 $y(t)$는 식(2)와 같이 정의된다.

$$x_{\theta_{shift}}(t)=h^x(t|\theta_{shift})*s_{\phi_s,\theta_s}(t) \quad (1)$$

$$y(t)=h^y(t)*s_{\phi_s,\theta_s}(t) \quad (2)$$

$h^{x(y)}(t|\theta_{shift})$는 θ_{shift}위치에서 음원과 마이크로폰간의 음향학적 전달함수이며 $*$는 convolution, $s_{\phi_s,\theta_s}(t)$는 음원을 나타낸다. 측정되는 두 신호를 이용하여 회전각에 따른 PHAT(PHAse Transform) GCC는 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$R_{xy}(\theta_{shift},\tau)=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{G_{xy}(\theta_{shift},f)}{|G_{xy}(\theta_{shift},f)|}e^{j2\pi f\tau}df \quad (3)$$

본 연구에서 제안하는 음원방향검지지표(Source Direction Estimator)는 예측된 $tdt(\theta_{shift}|\phi_s,\theta_s)$와 측정되는 PHAT GCC를 선적분 형태로 식(4)와 같이 나타낼 수 있으며 음원의 방향은 식(5)에 의해 추정된다.

$$SDE(\phi_s,\theta_s)=\frac{\oint_{tdt(\theta_{shift}|\phi_s,\theta_s)}R_{xy}(\theta_{shift},\tau)d\theta_{shift}}{\oint d\theta_{shift}} \quad (4)$$

$$(\hat{\phi}_s,\hat{\theta}_s)=\arg\max_{\phi_s,\theta_s}SDE(\phi_s,\theta_s) \quad (5)$$

정면에 위치한 음원($(\phi_s,\theta_s)=(0^o,0^o)$)을 대상으로 획득된 SDE는 Figure 3과 같다.

3. 결 론

기존에 제안된 로봇 인공귀 기술과 달리 마이크로폰 2개로 이루어진 회전형 마이크로폰 어레이를 이용한 방향 검지 기술을 제안하였으며 시뮬레이션 결과를 통하여 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 연구개발사업(인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발사업)의 일환으로 수행되었습니다.

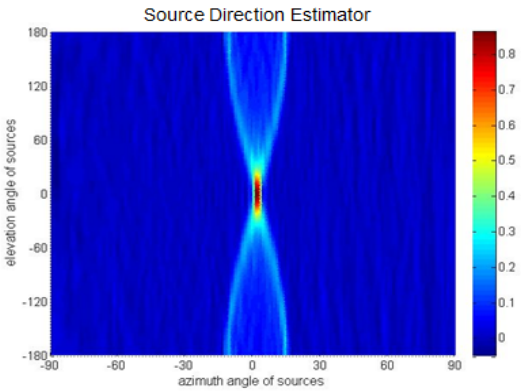

Figure 2 SDE for the source at (0^o,0^o)