

음원 도착순서를 이용한 음원 위치추정 알고리즘 제안

최창용*, 김태완*, 이동명*

*동명대학교 컴퓨터공학과

e-mail: bigboycg@nate.com, rukistar@cyworld.com, dmlee@tu.ac.kr

Suggestion of Sound Source based Localization Algorithm Using Arrival Sequence of Sound

Chang Yong Choi*, Tae Wan Kim*, Dong Myung Lee*

*Dept of Computer Engineering, Tongmyong University

요 약

음원 위치추정 시스템은 일반적으로 여러 개의 마이크에서 수집된 음원의 시간 간격을 이용해 음원의 위치를 추정하는 방식을 적용한다. 본 논문에서는 감시카메라에 적합한 4개의 마이크로폰을 이용한 음원 위치추정 시스템에서 마이크로폰에 수신된 음원의 도착순서를 이용해 음원의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 시뮬레이션 프로그램을 통해 검증한 결과, 음원 추정각도의 오차는 2°~11.25°로 확인되었으며, 이는 실제각도의 오차범위인 0°~22.5° 내에 해당하기 때문에 추정각도의 오차가 최대로 발생하더라도 음원이 발생한 위치를 파악 할 수 있음을 의미한다.

1. 서론

최근 많은 사건/사고가 다양한 환경에서 감시카메라를 통해 해결되는 경우가 많다. 그러나 감시카메라가 고정되어 있거나 일정한 시간간격으로 회전하는 방식이어서 촬영하지 못하는 사각지대가 발생하고 범죄에 무방비 상태로 노출되고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 최근 국내외에서 음원의 위치를 추정하여 화자의 위치를 추정하는 애완용로봇, 음원을 향해 감시카메라를 이동시키는 시스템 등이 연구되고 적용되고 있다. 그러나 이러한 시스템은 크로스코릴레이션 함수, 코사인 역함수, 인터플레이션 함수 등 많은 단계를 거쳐서 구현되어 임베디드 환경에는 맞지 않다. 그래서 영역분할을 이용한 음원 위치추정 기법, 빔 형성기법 및 홀로그래피 기법 등과 같은 방식이 연구되고 있으나 저비용 임베디드 환경에는 적합하지 않아 실용화가 어렵다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 감시카메라에 적합한 4개의 마이크로폰을 이용한 음원 위치추정 시스템에서 마이크로폰에 수신된 음원의 도착순서를 이용해 음원의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안하였다.

2. 관련연구

음원의 위치를 추정하는 기법에는 영역 분할을 이용한
본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학연공동기술개발사업(No. 00046552)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

음원 위치추정 기법, 쌍곡선을 이용한 음원 위치추정 기법 [1], 위치 추정 3D 모델링 기법, TDOA[2], 테일러 기법[3]을 이용한 음원 위치추정 기법 등이 있다.

쌍곡선을 이용한 음원 위치추정 기법은 한 평면상에서 음원이 발생하면 두 센서에 도달하는 시간차를 거리로 환산하여 궤적을 나타내면 쌍곡선 방정식이 된다. 이 쌍곡선 방정식을 이용해 3개의 마이크로폰에서 수집된 음원에 대한 궤적을 교점으로 음원의 위치를 추정할 수 있게 된다.

위치 추정 3D 모델링 기법은 실제 음원은 3차원 공간상에 있으므로 이를 추정하기 위해 3D 공간상의 음원의 궤적을 그리고, 그려진 궤적의 교합부위는 임의의 곡선으로 나타내는데 이 곡선을 이용해 음원의 위치를 추정할 수 있다.

TDOA를 이용한 음원 위치추정 기법은 마이크로폰 사이의 시간지연과 마이크로폰이 놓여있는 기하학적 형상만을 이용해 간단하게 음원의 위치를 추정할 수 있는 기법이다.

3. 음원 도착순서를 이용한 음원 위치추정 알고리즘 제안

3.1 알고리즘 제안배경

감시카메라 시스템은 영상을 통해 감시하기 때문에 카메라의 영상 촬영 시야각이 존재한다. 감시카메라의 영상 촬영 시야각은 45°~ 180°로 비교적 넓기 때문에 알고리즘의 정확도가 매우 정밀할 필요가 없다. 정확도를 낮추고 유연성과 안정성을 높이는 것이 감시카메라 시스템에 더욱

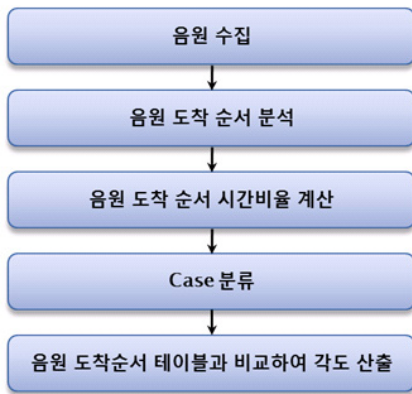
적합하다.

본 논문에서 제안할 음원 도착순서를 이용한 음원 위치 추정 알고리즘은 22.5°의 오차를 가져 정밀하지는 않다. 하지만 단순하게 음원의 도착순서만을 이용하기 때문에 주변 잡음에 강하고 단순한 구조이기 때문에 손쉬운 구현이 가능해 임베디드 환경서도 구현이 가능하다.

3.2 알고리즘의 설계

3.2.1 제안 알고리즘

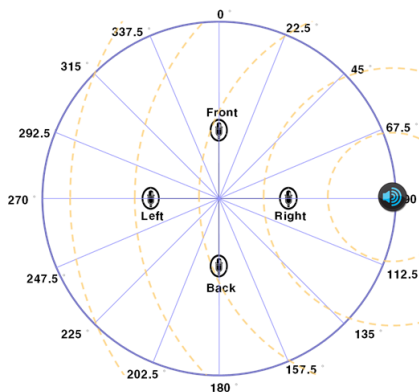
제안하는 음원 도착순서를 이용한 음원 위치추정 알고리즘은 (그림 1)과 같은 순서로 동작한다. 4개의 마이크로폰으로 음원을 수집하고, 수집된 음원의 도착순서를 분석한다. 분석된 음원의 도착순서의 시간비율을 계산해 어느 정도의 시간비율을 가지고 음원이 각 마이크로폰에 도착했는지 계산한다. 계산된 음원 도착순서 시간비율을 이용해 Case를 분류한다. 이후 Case별로 구분된 음원 도착순서 테이블과 비교하여 음원의 각도를 산출하게 된다.



(그림 1) 알고리즘 동작 순서

3.2.2 음원수집

음원 수집을 위해 4개의 마이크로폰은 (그림 2)과 같이 마이크로폰 4개를 전(Front), 후(Back), 좌(Left), 우(Right) 열십자모양으로 동일한 간격으로 배치한다.



(그림 2) 마이크로폰 배치 및 음원의 이동 모습

3.2.3 음원 도착순서 분석 및 시간비율 계산

열십자모양으로 배치된 4개의 마이크로폰에서 음원을 수신한 순서를 분석하고, 음원이 각 마이크로폰에 도착한 순서의 시간 비율을 계산한다. 음원 도착순서 시간비율은 식(1)과 같이 계산한다.

$$ATR = MI_{m2-m3} / MI_{m3-m4} \quad (1)$$

여기에서 ATR 은 음원간 시간간격 비율이고, MI_{m2-m3} 는 음원을 수신한 두 번째 마이크로폰과 세 번째 마이크로폰간의 시간간격을 의미한다.

3.2.4 Case 분류

이렇게 계산된 음원 도착순서 시간비율인 ATR 을 식(2)를 이용해 <표 1>과 같이 분류된 3가지의 Case로 분류할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Case 1} &= 1 \leq ATR \leq th \\ \text{Case 2} &= ATR \geq th \\ \text{Case 3} &= ATR \leq 1 \end{aligned} \quad (2)$$

(th 의 기본값은 10)

여기에서 th 는 Case를 구분하는 threshold값으로 기본값은 10으로 설정하며, 환경과 노이즈에 따라 th 를 조절하여 알고리즘의 유연성을 증가시킬 수 있다.

Case 1은 모든 마이크로폰에서 비슷한 시간간격으로 음원이 수집된 경우이다. Case 2는 두 개의 마이크로폰에서 비슷한 시간간격으로 음원이 도착하고 이후 다시 두 개의 마이크로폰에서 비슷한 시간간격으로 음원이 도착하는 경우이다. Case 3은 음원을 첫 번째로 수신한 마이크로폰 이후에 두 개의 마이크로폰이 비슷한 시간간격으로 음원이 도착하고, 그 뒤에 마지막 마이크로폰에 음원이 수집된 경우이다.

<표 1> 음원간 도착순서 시간간격의 비율 분류

	도착순서 시간간격의 비율 분류
Case 1	MIC1 → MIC2 → MIC3 → MIC4
Case 2	MIC1 = MIC2 → MIC3 = MIC4
Case 3	MIC1 → MIC2 = MIC3 → MIC4

3.2.5 Case별 각도 테이블과 비교하여 각도 산출

음원의 Case가 정해지면 <표 2>와 같이 Case별로 구분된 음원 도착순서 테이블과 비교하여 음원의 각도를 산출하게 된다. 이때 음원이 동시에 수신되었다고 판단되어지는 Case 2의 MIC1과 MIC2, MIC3과 MIC4 및 Case 3의 MIC2와 MIC3의 순서는 바뀔 수 있다. 이는 각도의 변화에 따라 Case 2와 Case 3의 동시에 수신된다고 판단되

어 지는 두 마이크가 동시에 들어왔다고 판단되었어도 수신 순서는 다를 수 있기 때문이다.

<표 2> Case별로 구분된 음원 도착순서 테이블

Case	각도	음원 도착순서	비고
Case 1	22.5	FRLB	F : Front. B : Back, L : Left, R : Right
	67.5	RFBL	
	112.5	RBFL	
	157.5	BRLF	
	202.5	BLRF	
	247.5	LBFR	
	292.5	LFBR	
	337.5	FLRB	
Case 2	45	RFBL, RFLB, FRLB, FRBL	F : Front. B : Back, L : Left, R : Right
	135	RBFL, RBLF, BRFL, BRLF	
	225	LBFR, LBRF, BLFR, BLRF	
	315	FLRB, FLBR, LFRB, LFBR	
Case 3	0	FLRB, FRLB	F : Front. B : Back, L : Left, R : Right
	90	RFBL, RBFL	
	180	BLRF, BRLF	
	270	LFBR, LBFR	

4. 성능 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 음원 도착순서를 이용한 음원 위치 추정 알고리즘의 검증은 위해 시뮬레이션 프로그램을 만들어 결과를 분석하였다.

시뮬레이션 프로그램은 실제 각도와 4개의 마이크로폰의 중심점과의 거리를 입력하면 <표 3>과 같이 실제각도, 음원 도착순서, ATR, Case, 추정각도, 오차를 출력해주도록 구현되었다.

<표 3>은 실제각도 27°, 92°, 137°, 56.25°, 4개의 마이크로폰의 중심점과의 거리 100cm로 설정하고 시뮬레이션한 결과이다. 실제각도 27°의 경우 $1 \leq ATR \leq th$ 이기 때문에 Case1으로 분류되고, 음원도착순서가 FRLB로 <표 2>와 비교하면 추정각도는 22.5°가되어 실제각도와 추정각도의 오차는 4.5°가된다. 실제각도가 92°인 경우 Case는 $ATR \leq 1$ 이기 때문에 Case3이 되고, 음원도착순서가 RBFL로 추정각도 90°가되어 실제각도와 추정각도의 오차가 2°가 발생하게 된다. 실제각도 137° 및 56.25° 역시 동일한 방법으로 추정각도를 산출하면 각각 135°, 67.5°이다. 이때 발생하는 실제각도와 추정각도의 오차는 각각 2°, 11.25°이다.

실제각도와 추정각도의 오차가 2°~11.25°인 이유는 추정각도는 <표 2>의 음원도착순서와 비교하여 추정각도

를 산출하기 때문이다. 이와 같은 이유로 실제각도와 추정각도의 최대오차는 22.5°여서 추정각도의 오차가 최대로 발생하더라도 카메라의 시야각보다 낮기 때문에 음원이 발생한 곳을 놓치지 않고 감시할 수 있게 된다.

<표 3> 알고리즘 시뮬레이션 결과

실제 각도	음원도착순서	ATR	Case	추정 각도	오차
27°	FRLB	1.4597	Case1	22.5°	4.5°
92°	RBFL	0.0741	Case3	90°	2°
137°	RBFL	28.6102	Case2	135°	2°
56.25°	RFBL	4.1658	Case1	67.5°	11.25°

5. 결론

본 논문에서는 감시카메라에 적합한 4개의 마이크로폰을 이용한 음원 위치추정 시스템에서 마이크로폰에 수신된 음원의 도착순서를 이용해 음원의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션 프로그램을 통해 제안한 알고리즘을 검증하였다.

시뮬레이션 결과 실제각도와 추정각도의 오차는 최소 2°, 최대 11.25°가 발생하였다. 이는 Case별로 구분된 음원 도착순서 테이블과 비교하여 각도를 산출하기 때문에 실제각도와 추정각도의 오차범위가 넓기 때문이다. 또한 이와 같은 이유로 본 논문에서 제안한 알고리즘의 실제각도와 추정각도의 오차범위는 최소 0°에서 최대 22.5°까지 발생할 수 있다.

향후 제안한 알고리즘을 시뮬레이션이 아닌 테스트베드 구축을 통해 실제의 다양한 환경에서 실험을 하고, 결과를 분석할 예정이다. 그리고 제안한 알고리즘과 동등한 수준의 오차를 가지지만 좀 더 단순하고 위치추정 정확도가 향상된 알고리즘을 제안할 예정이다.

참고문헌

[1] 김용은, 조수현, 정진균, “영역 분할을 이용한 효율적인 음원 위치 추정 시스템,” 대한전자공학회, 전자공학회 논문지, 제46권 SP편 제2호, pp. 114-119, 2009.
 [2] M. S. Brandstein and H. Silverman, “A practical methodology for speech source localization with microphone arrays,” Computer Speech and Language, 11(2), pp. 91-126. 1997.
 [3] WADE H. FCarter, “Position-Location Solutions by Tayler-Series Estimation,” IEEE Trans. Aerospace and Electronic System, Vol. AES-12, No. 2, pp. 323-336, 1978.