

# SVM을 활용한 각도 추정 이상값 제거를 통한 음원 위치 추정 정확도 향상에 관한 연구

박주현, 김성철

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신공동연구소

{joohyun\_park, sckim}@maxwell.snu.ac.kr

## Improving Acoustic Localization Accuracy by Removing Outliers Using Support Vector Machine

Joo Hyun Park, Seong-Cheol Kim

Department of Electronic and Computer Engineering,

Institute of New Media & Communication

Seoul National University

### 요 약

최근 사용자 및 기기의 위치를 기반으로 한 적절한 서비스 제공을 위한 발생하는 소리의 위치 추정에 관한 연구의 수요가 증가하고 있다. 그러나 기존의 음원 위치 추정의 경우 마이크 어레이를 이용한 각도 추정 정확도가 높지 않아 이를 이용한 위치 추정 정확도가 낮다는 문제점이 있다. 본 논문에서는 음원 도래각 추정에 SRC-PHAT 기법을 이용하였고, 도래각의 정확도 향상을 위해 SVM을 적용해 이상값을 제거했다. SVM을 이용한 이상값 제거를 통해 각도 추정 정확도를 향상했고, 그 결과 기존 음원 위치 추정 기법에 비해 거리 오차가 최소 1.1%, 최대 14.1% 감소해 평균 5.98% 오차가 감소한 것을 확인했다.

### I. 서론

최근 사용자에게 위치 기반 맞춤형 서비스를 제공하기 위해 사용자의 위치를 추정하는 방안에 관한 연구가 진행 중이다 [1, 2]. 기존에는 사용자의 휴대폰에서 발생하는 전파를 기반으로 한 위치 추정 기법을 주로 사용했으나, 최근에는 소리를 이용한 음원 위치 추정에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다 [3]. 전파를 이용한 기존의 위치 추정 기법은 전파를 수신하기 위한 별도의 센서 노드를 요하는 반면, 음원 위치 추정에 필요한 스피커 및 마이크는 이미 수많은 휴대폰에 기본으로 내장되어 있어 별도의 센서 노드 설치가 필요하지 않다는 장점이 있다. 또한, 추가적인 센서 노드인 마이크 어레이를 설치한다 해도 상용 마이크 어레이의 가격이 낮다는 것 또한 장점이다.

기존의 음원 위치 추정기법은 머리 전달함수 (Head related transfer function) 기반 기법, 주파수 변환 (Phase transformation; PHAT) 기반 기법이 있다 [4]. 머리 전달함수란 사람의 왼쪽, 오른쪽 귀의 위치, 높이, 모양 등의 차이로 인해 왼쪽 귀와 오른쪽 귀에 들어오는 소리가 달라지는 현상을 반영한 전달함수이다. 이를 역으로 이용하면 머리전달함수를 이용한 음원 위치 추정이 가능하다. 그러나 이는 음원에 대한 사전 정보가 필요하다는 단점이 있다. 반면에 현재 음원 위치 추정에서 가장 널리 활용되는 기법은 주파수 변환 기법이다. 이는 마이크로 녹음한 음원을 주파수 도메인으로 변환 후 음원의 위치를 추정하는 기법이다. 이 중에서도 소리의 에너지가 가장 높은 지점을 음원 위치로 추정하는 SRP-PHAT(Steered response power - PHAT) 기법이 가장 널리 사용된다.

기존의 기법들은 모두 음원의 위치를 추정할 때 음원까지의 거리와 각도를 추정하는 것에 기초를 둔다. 따라서 정확한 거리와 각도 추정이 음원

위치 추정 정확도를 향상하는 데 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 음원의 도래각 (Angle of arrival) 추정 정확도 향상을 위해 SVM을 이용해 각도 추정 이상값을 제거해 음원 위치 추정 정확도를 향상시키는 새로운 기법을 고안했다. II에서는 본 논문에 사용된 기법에 대해 설명한다. III에서는 측정 실험 시나리오를 기술하고, IV에서는 결과에 대해 논의하고, V에서는 논문을 마무리한다.

### II. 배경 이론

#### 2.1. SRP-PHAT

본 연구에서 각도 추정에 활용한 SRP-PHAT 기법은 다음과 같다. 공간 안에  $M$ 개의 마이크가 있을 때,  $T$ 라는 시간 간격 동안 마이크 어레이로 취득한 신호는  $P_n(\vec{x})$ 로 나타내며, 이는 식(1)과 같다.

$$P_n(\vec{x}) := \int_{nT}^{(n+1)T} \left| \sum_{i=1}^M w_i m_i(t - \tau(\vec{x}, i)) \right|^2 dt \quad (1)$$

$i$ 는 마이크 인덱스이고,  $\tau(\vec{x}, i)$ 는 지점  $\vec{x}$ 에 스피커가 있을 때,  $i$ 번째 마이크에 들어오는 신호의 시간 지연(time delay)을 의미한다.  $w_i$ 는 각 마이크에 적용된 가중치(weight)를 의미한다. 이때  $P_n(\vec{x})$ 이 최댓값을 갖는 지점  $\vec{x}$ 를 음원의 위치로 추정한다.

#### 2.2. 도래각 기반 위치 추정

위에서 소개한 기존 SRP-PHAT 기법은 이론적으로는 한 번의 시행으로 정확하게 거리와 각도를 추정할 수 있어야 한다. 그러나 실제 취득 음원에 적용 시 각도 추정 정확도는 높으나 거리 추정 정확도가 낮다는 단점이

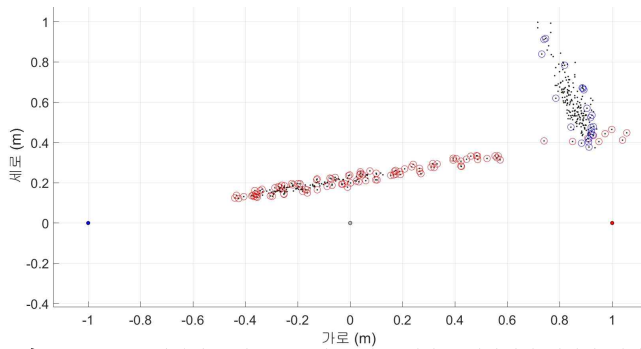


그림 1. 30° 1m 지점에 스피커를 놓았을 때 도래각 추정값에서 이상값 제거

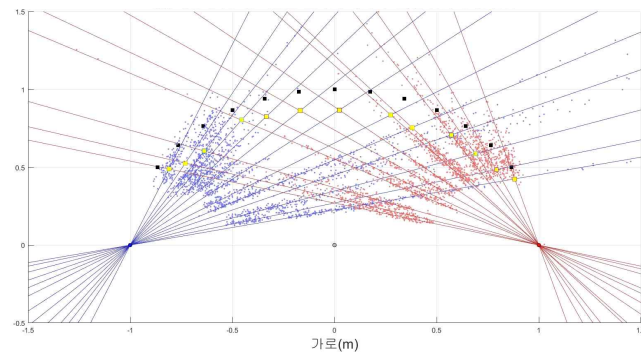


그림 2. 13개 지점에 대한 음원 위치 추정 결과

있다. 따라서 본 연구에서는 두 개의 마이크 어레이를 구성하는 마이크를 조합해 각 마이크 어레이 기반의 도래각 추정값 두 개를 조합해 음원의 위치를 추정한다. 이는 그림2에 나와 있다. 그림2에서 스피커의 위치는 검정색 점이고, (-1,0)에 마이크 어레이1 (1,0)에 마이크 어레이 2가 배치되어 있으며, 파란색 선은 마이크 어레이 1에서의 각도 추정선, 빨간색 선은 마이크 어레이 2에서의 각도 추정선이다. 이를 이용한 각도 추정 결과는 노란색 점으로 표시되어 있다.

### 2.3. 서포트 벡터 머신 (SVM)

기계학습의 한 종류인 서포트 벡터 머신은 어떤 데이터가 주어졌을 때 그 데이터의 속성을 학습해 이후 데이터를 분류하는 역할을 한다. 두 종류로 분류할 경우 이진 선형 분류라 한다.

SVM을 적용해 도래각 추정 시 이상값을 제거한 결과는 그림1에 나와 있다. 원점으로부터 거리 1m 각도 30° 지점에 스피커를 놓았을 때 두 개의 마이크 어레이에서 각도 추정한 결과가 검은색 점이고, 이 중 SVM을 이용해 이상값으로 분류한 것은 각각 파란색 원 및 빨간색 원으로 표시했다.

### III. 실험 시나리오

서울대학교 뉴미디어 통신 공동 연구소의 지하 음파무향실에서 측정 실험을 진행했다. 음파 무향실은 6.8m × 8.0m 의 규모이다. 실험에 사용한 스피커는 Bose SoundLink Revolve+ Bluetooth® 이고, 마이크 어레이 정육각형의 각 꼭짓점에 마이크가 배열되어 6개의 마이크가 장착된 Seed사의 ReSpeaker Core 2.0 을 이용했다. 사용한 음원은 짧은 시간 동안 발생하는 임펄스 (Impulse) 형태의 건 샷 (gun shot)을 사용했다.

중앙의 원점을 기준으로 30° 부터 150° 까지 10° 간격으로, 원점으로부터의 거리 1m 지점인 총 13개의 지점에 대해 측정 실험을 진행하였다. 각 지점에서 5번의 반복측정을 진행해 총 65개의 음원을 취득했다. 이에 고안한 위치 추정 알고리즘은 MATLAB을 이용해 적용하였다.

각도	기존기법 오차 평균 (cm)	SVM 적용 기법 오차 평균 (cm)	오차 감소율(%)
30°	9.62162	9.348262	-2.84108
40°	13.53319	13.13912	-2.91188
50°	19.98968	19.57742	-2.06239
60°	20.33847	19.66118	-3.3301
70°	18.69395	18.44473	-1.33314
80°	20.6815	18.68635	-9.64705
90°	14.13298	13.23605	-6.34632
100°	15.15522	13.58038	-10.3914
110°	13.97044	12.42315	-11.0755
120°	9.826666	8.943151	-8.99099
130°	14.26475	14.10626	-1.11106
140°	13.39199	12.91413	-3.56824
150°	7.300449	6.26601	-14.1695

표 1. SVM을 이용한 이상값 제거를 통한 도래각 추정이용 위치 추정 결과

### IV. 결과 및 분석

SVM 적용 기법의 위치 추정 결과는 표1에 나와 있다. 기존기법의 경우 오차는 최소 7.3cm 최대 20.3cm 이다. SVM을 적용해 도래각 이상값을 제거하여 음원의 위치를 추정한 경우 오차는 최소 6.2cm 이고 최대 19.6cm 이다. 오차 감소율은 최소 -1.1%, 최대 -14.1%로 평균적으로 -5.98% 였다. 모든 각도에 대해 오차가 감소한 것을 확인할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 음원 위치 추정 정확도 향상을 위한 도달 각도 정확도 향상 기법에 관한 연구를 진행하였다. 이를 위해 SRP-PHAT 기법을 이용한 각도 추정 시 SVM을 이용해 이상값을 제거하는 기법을 적용하였다. 그 결과 기존기법 대비 오차율이 평균 5.98% 감소한 것을 확인했다. 향후 무향실뿐 아니라 잡음과 잔향이 많은 환경에서 적용 가능한 음원 위치 추정 기법에 관해 연구할 계획이다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 두뇌한국21플러스사업에 의하여 지원되었음.

### 참 고 문 헌

- [1] Ali, Kashif, et al. "Non-audible acoustic communication and its application in indoor location-based services." 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. IEEE, 2016.
- [2] Mumolo, Enzo, Massimiliano Nolic, and Gianni Vercelli. "Algorithms for acoustic localization based on microphone array in service robotics." Robotics and Autonomous systems 42.2 (2003): 69-88.
- [3] Liu, Manni, et al. "Indoor acoustic localization: a survey." Human-centric Computing and Information Sciences 10.1 (2020): 2.
- [4] Berger, Christopher C., et al. "Generic HRTFs may be good enough in virtual reality. Improving source localization through cross-modal plasticity." Frontiers in neuroscience 12 (2018): 21.