

# 지하주차장에서 음의 세기를 이용한 퍼지로지 기반 음원 위치추정 시스템

최창용\*, 이동명<sup>o</sup>

## Fuzzy Logic Based Sound Source Localization System Using Sound Strength in the Underground Parking Lot

Chang Yong Choi\*, Dong Myung Lee<sup>o</sup>

### 요 약

최근 많은 감시카메라 (CCTV)들이 사건/사고의 해결되고 있지만 기존의 감시카메라 시스템은 영상이 촬영되지 않는 지역인 사각지대에 대한 감시가 불가능하고 이러한 사각지대로 인해 감시의 효율이 낮아진다. 본 논문에서는 지하주차장에서 감시카메라 사각지대 문제 해결을 위하여 지하주차장에서 음의 세기를 이용한 퍼지로지 기반 음원 위치추정 시스템을 제안하고, 실험을 통해 성능을 분석하였다. 성능분석 결과, 퍼지로지 기반 음원 위치추정 알고리즘 (*SLA\_fuzzy*)는 사각지대 감시카메라용 위치추정 알고리즘 (*SLA*) 보다 평균 4배 정도 안정적이며, 위치추정 정확도가 약 29%정도 향상되었음을 확인하였다.

**Key Words** : CCTV, Sound Source Localization, Fuzzy, Sound Strength

### ABSTRACT

It is very difficult to monitor the blind spots that are not recognized by traditional surveillance camera (CCTV) systems, and the surveillance efficiencies are very low though many accidents/events can be solved by the systems. In this paper, the fuzzy logic based sound source localization system using sound strength in the underground parking lot is suggested and the performance of the system is analyzed in order to enhance the stabilization and the accuracy of the localization algorithm in the suggested system. It is confirmed that the localization stabilization of the localization algorithm (*SLA\_fuzzy*) using the fuzzy logic in the suggested system is 4 times higher than that of the conventional localization algorithm (*SLA*). In addition to this, the localization accuracy of the *SLA\_fuzzy* in the suggested system is 29% higher than that of the *SLA*.

### I. 서 론

최근 사건/사고등의 급증으로 이를 감소시키기 위한 방법으로 감시카메라 (CCTV)가 대부분 설치되어 운영되고 있으며, 상당한 효과를 이루고 있다. 최근 감시카메라는 영상인식을 기반으로 한 행위분석, 차량인식, 얼굴인식, 출입통제 및 상황검색 등의

지능형 시스템으로 발전되고 있는 추세이다. 그러나 영상인식을 기반으로 하는 감시카메라는 촬영이 불가능한 사각지대에서 발생한 사건/사고들은 감지가 불가능하다<sup>1,2)</sup>.

이러한 문제점을 해결하기 위해 움직임 감지센서, 음원 위치추정 등의 다양한 방법이 감시카메라에 사용되고 있는데, 특히 음원 위치추정 분야에서는

\* 이 논문은 2012학년도 동명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음 (2012A005)

• 주저자 : 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 모바일기술연구실, bigboycg@nate.com, 준회원

o 교신저자 : 동명대학교 컴퓨터공학과 모바일기술연구실, dmlee@tu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-11-548, 접수일자 : 2012년 11월 25일, 최종논문접수일자 : 2013년 5월 9일

TDOA, 테일러 기법 등이 널리 사용되고 있다<sup>3,4)</sup>.

본 논문에서는 지하주차장에서 감시카메라 사각지대 문제 해결을 위하여 지하주차장에서 음의 세기를 이용한 퍼지로지 기반 음원 위치 추정 알고리즘을 제안하고, 실험을 통해 성능을 분석하였다.

## II. 관련연구

### 2.1. 음의 세기를 이용한 사각지대 감시카메라용 위치추정 알고리즘

음의 세기를 이용한 사각지대 감시카메라용 위치 추정 알고리즘 (Sound Source based Localization Algorithm : SLA)[5]은 음의 세기를 분석하여 음이 발생한 위치를 추정하는 알고리즘으로써 그림 1과 같이 음의 측정, 음의 세기 분석, 음의 비율계산, 위치추정 4단계로 진행된다.

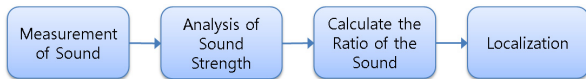


그림 1. SLA 알고리즘 동작 순서  
Fig. 1. SLA Algorithm Procedures.

음의 측정 단계에서는 4개의 마이크를 전 (Front, 0°), 후 (Back, 180°), 좌 (Left, 270°), 우 (Right, 90°)의 열십자 모양으로 동일한 간격으로 배치하여 음을 측정하고, 음의 세기 분석 단계에서 4개의 마이크에서 측정된 음들은 (식 1)과 같이 임계치 값( $th$ )보다 큰 수의 개수를 구하게 된다.

$$soundvalue \geq th \Rightarrow count + 1 \quad (1)$$

음의 비율 계산 단계에서는 음원 세기 분석에서 구해진 마이크에서 수집된 음들 중  $th$ 보다 큰 개수 (count)를 이용해 4개의 마이크 중 count가 큰 두 개의 마이크를 선택하여, 이 두 개의 마이크 ( $MIC_a$ ,  $MIC_b$ )의 count 비율을 (식 2)와 같이 계산한다. 위치추정 단계에서는 음의 비율 계산 단계에서 계산된  $count_{rate}$ 를 음원의 위치 ( $SL$ )을 (식 3)과 같이 계산한다.

$$count_{rate} = \frac{|MIC_a - MIC_b|}{count_{MIC_a} + count_{MIC_b}} \times count_{MIC_a}, \quad (2)$$

$(count_{MIC_a} > count_{MIC_b})$

$$\begin{aligned} SL &= count_{rate} + MIC_a, (MIC_a < MIC_b) \\ SL &= count_{rate} - MIC_a, (MIC_a > MIC_b) \end{aligned} \quad (3)$$

### 2.2. 퍼지 로직

퍼지로직은 퍼지 논리를 기초로 하는 이론으로서 추상적이고 애매모호한 표현을 퍼지집합으로 정립된 이론이다. 이 중에서 인공지능의 근사추론기법 중의 하나인 퍼지추론 기법이 개발되어 여러 가지 문제를 해결해 왔다. 기존의 집합은 ‘맞다’, ‘틀리다’의 0, 1 표현식을 가지지만 퍼지추론에서는 ‘맞다’, ‘맞는 것 같다’, ‘아닌 것 같다’, ‘아니다’의 0, 1 사이의 연속된 표현식을 가진다<sup>6)</sup>.

퍼지로직의 일반적인 퍼지추론 시스템은 그림 2와 같이 Fuzzifier에서 크리스프 입력 값 (0, 1)을 퍼지 입력 (0~1)으로 변환하고, Fuzzy Inference Engine에서 Fuzzy Rule Base를 이용하여 입력 값에 대한 퍼지 출력을 추론한다. 추론된 퍼지출력을 Defuzzifier에서 크리스프 값으로 변환하게 된다. 일반적인 퍼지 추론시스템에서 Fuzzifier는 Fuzzy Singleton, Defuzzifier는 무게중심법 (Centroid Method)을 사용한다<sup>7,8)</sup>.

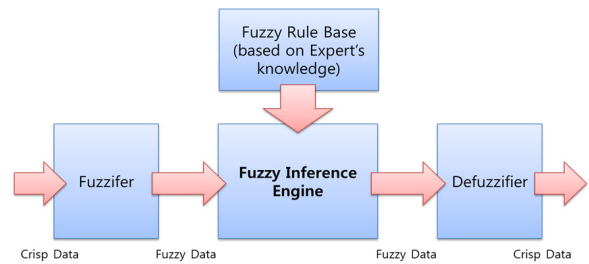


그림 2. 퍼지 추론시스템  
Fig. 2. Fuzzy Inference System.

## III. 퍼지로지 기반 음원 위치추정 시스템 제안

### 3.1. 문제점 분석

음원 위치추정 알고리즘을 이용해 감시카메라의 사각지대를 줄이기 위해서는 사건, 사고 및 범죄 예방을 위해서 실시간으로 감시카메라를 회전시키고 빠른 처리가 가능하며 불필요한 감시카메라의 회전이 발생하지 않도록 하는 안정적인 음원 위치추정 알고리즘이 필요하다.

기존에 제안된 SLA는 GCC (Generalized Cross Correlation)와 TOA (Time Difference of Arrival) 기법이 아닌 음의 세기를 이용한 아주 단순한 구조로 빠른 음원 위치추정이 가능하다.

그러나 음의 세기를 이용한 사각지대 감시카메라용 위치추정 알고리즘은 실험결과, 그림 3에서 볼 수 있듯이 동일한 위치에서 발생한 음의 위치를 추정할 때 오차의 폭이 크게 나타나 불안정한 모습을 보여줌을 알 수 있다. 예를 들면, 실제각도 270°에

서 SLA 알고리즘의 위치추정 각도는 최소 215°에서 288°로 측정되었고, 최대 73°의 오차폭을 보여주었다. 이러한 위치추정 결과로 볼 때, SLA 알고리즘은 오차의 폭이 커 위치추정 알고리즘의 안정성 및 신뢰도가 떨어지고, 감시카메라의 불필요한 회전을 유발할 수 있다는 단점을 가지고 있음을 알 수 있다.

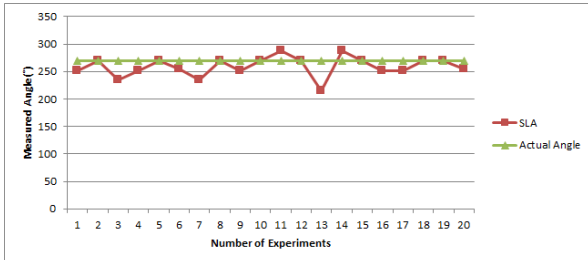


그림 3. SLA 알고리즘 결과와 실제 각도의 비교  
Fig. 3. Comparison of SLA Algorithm Result and Actual Angle.

이러한 SLA의 큰 위치추정 오차폭은 음의 세기 분석 단계에서 발생하게 된다. 발생 이유는 스피커를 이용해 특정한 소리를 발생시켰을 때 소리가 마이크로폰으로 바로 들어오는 경우도 있지만 벽이나 가구 같은 장애물에 반사되어 들어오게 되는데, 이렇게 반사되어 들어온 음은 반사되면서 세기가 달라진다. 세기가 달라진 반사된 음은 음의 세기 분석 단계에서 정확하게 분석되지 못하기 때문에 위치추정 정확도는 반사된 음이 적고 많음에 따라 달라진다.

본 논문에서는 이러한 SLA 알고리즘의 문제점을 해결하기 위해 위치추정 정확도, 안정성 및 신뢰도를 향상시키고 감시카메라의 불필요한 회전을 최소화 할 수 있도록 지하주차장에서 음의 세기를 이용한 퍼지로지 기반 음원 위치추정 시스템을 제안하였다.

### 3.2. 제안한 퍼지로지 기반 음원 위치추정 시스템 구성

제안한 지하주차장에서 음의 세기를 이용한 퍼지로지 기반 음원 위치추정 시스템은 음을 측정하여 서버로 전달하는 음원 수집 모듈, 측정된 음의 세기를 분석하여 음의 위치를 추정하는 퍼지로지 기반 음원 위치추정 알고리즘, 지하주차장 환경에 적합하게 반사음 및 울림음을 최소화하기 위한 음원 수집 모듈 함체, 스피드돔형 카메라 및 모니터링 S/W로 구성된다.

음원 수신 모듈 및 함체는 지하주차장에서 발생하는 반사음 및 울림음을 최소화 할 수 있도록 방

음제와 짐승 구조로 설계하여 4개의 마이크로폰에서 효율적으로 음을 측정할 수 있도록 구성되어 있다. 또한 이들은 ATmega128내의 AD 컨버터를 통하여 4개의 마이크로폰 신호를 변환하여 음원 위치추정 알고리즘에게 전달한다.

모니터링 S/W는 스피드돔형 감시카메라가 촬영한 영상을 실시간으로 모니터링하고, 음원 수집 모듈에서 측정된 음을 음원기반 위치추정 알고리즘을 통해 방향을 추정하고 스피드돔형 감시카메라를 음이 발생한 방향으로 회전시킨다.

### 3.3. 퍼지로지 기반 음원 위치추정 알고리즘

제안한 지하주차장에서 음의 세기를 이용한 퍼지로지 기반 음원 위치추정 알고리즘 (Sound Source based Localization Algorithm fuzzy (SLA\_fuzzy))은 그림 4와 같이 음의 세기분석 단계를 퍼지로직을 이용해 산출한 후 음이 위치한 각도를 안정적으로 추정한다.

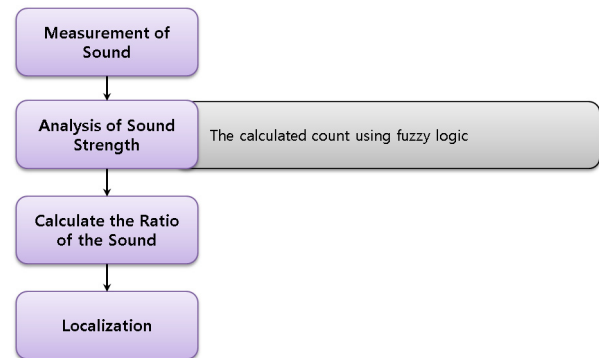


그림 4. 제안 알고리즘의 동작 순서  
Fig. 4. Procedures of Suggested Algorithm.

제안한 SLA\_fuzzy에서 음의 세기는 퍼지로직을 사용하여 분석되는데, 음의 세기별로 분할된 퍼지집합에 대해 소속도 함수를 결정하여 count를 계산한다. 본 논문에서 사용된 퍼지는 Fuzzifer에는 Singleton 방법, Fuzzy Inference에서는 Mandani의 Min-Max법, 규칙 형식은 if~, then~, 그리고 Defuzzifier에서는 무게중심법을 사용하였다. 퍼지로직의 전건부인 그림 5는 음의 세기이고, 후건부인 그림 6은 음의 비율이다. 음의 세기는 noise, normal, high 3가지의 소속 함수로 구성되며 음의 세기에 대한 음의 비율의 규칙 베이스는 표 1과 같다.

전건부 퍼지 소속도 함수는 음의 세기를 구별하기 위한 퍼지 소속도 함수로서 noise, normal, high의 3개의 퍼지수로 이루어지며, 사다리꼴 퍼지수의 소속도 함수를 그림 5와 같이 표시할 수 있다.

후건부 퍼지 소속도 함수는 소리의 세기별로

count값을 결정하는 퍼지 소속도 함수로서 very low, medium, high 3개의 퍼지수로 이루어지며, 그림 6과 같이 나타낼 수 있다.

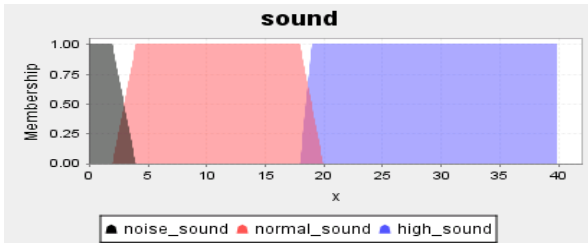


그림 5. 전건부 퍼지 소속도 함수  
Fig. 5. Fuzzy membership function of antecedent.

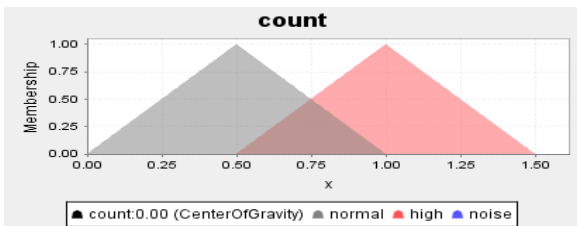


그림 6. 후건부 퍼지 소속도 함수  
Fig. 6. Fuzzy membership function of consequent.

표 1. 퍼지 규칙 베이스  
Table 1. Fuzzy Rule Base

Rule	if (Sound Strength)	then (count)
Rule 1	noise	very low
Rule 2	normal	medium
Rule 3	high	high

#### IV. 실험 및 결과분석

##### 4.1. 실험환경

본 논문에서 제안한 *SLA\_fuzzy*의 성능을 분석하기 위해 본 대학교 대학원 연구실에서 실험을 진행하였다. 실험은 음을 발생시키기 위한 스피커와 음을 수집하기 위한 음원수집모듈을 삼각대를 이용해 지상에서 1m 높이의 위치에 설치한 후 실시되었다. 또한 음의 위치추정은 그림 7과 같이 135°, 202.5°, 270°의 3곳의 각도에서 각각 20회씩 음원을 발생시켜 진행되었다.

##### 4.2. 결과분석

본 논문에서 제안한 알고리즘인 *SLA\_fuzzy*를 이용해 135°, 202.5°, 270° 3곳에서 발생한 음원의 위치를 추정한 실험결과는 그림 8~그림 10과 같다.

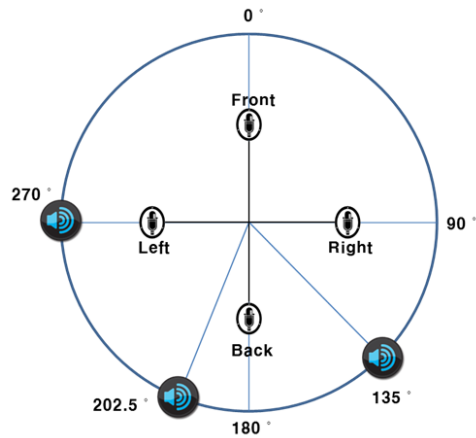


그림 7. 음의 위치추정을 위한 음원 위치 배치도  
Fig. 7. Sound Source Layout for Sound Localization.

음원이 135°의 위치에 있을 때 측정된 결과는 그림 8에서 보는 바와 같이 제안한 *SLA\_fuzzy*와 퍼지 로직을 사용하지 않은 *SLA*의 위치추정 정확도는 비슷하다. 그러나 실험횟수 7번째와 8번째에서 *SLA*은 오차가 각각 91°, 80°로 큰 폭으로 발생하였지만 *SLA\_fuzzy*는 큰 변화가 없는 것을 볼 수 있다.

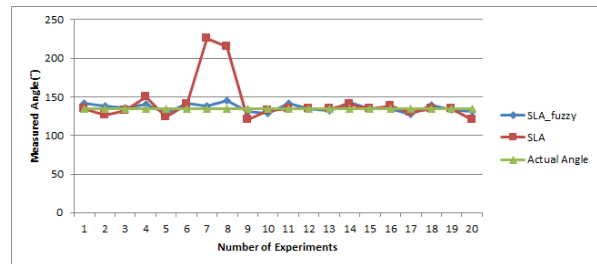


그림 8. 음원 위치추정 결과 (135°)  
Fig. 8. Result of Sound Source Localization. (135°)

음원이 202.5°에 위치할 때 측정된 결과는 그림 9에서 보는 바와 같이 *SLA\_fuzzy*가 *SLA* 보다 안정적이고 좀 더 정확한 위치추정이 수행되었음을 알 수 있다. *SLA\_fuzzy*는 오차폭이 약 20° 정도이며, 오차평균은 약 6.5°로, *SLA*의 오차폭인 약 60°와 오차평균인 16.5°에 비해 매우 안정적이고 정확한 위치추정이 수행되었다.

음원이 270°에 위치할 때 측정된 결과는 그림 10과 같다. 그림 10에서 보는 바와 같이 *SLA\_fuzzy*가 *SLA* 보다 낮은 정확도를 가지지만 각도 변화가 적어 안정적인 위치추정이 가능함을 확인할 수 있다. *SLA*는 전체적으로 위치추정 각도의 변화폭이 커 불안정한 모습을 보여주고 있지만 *SLA\_fuzzy*는 실험 횟수 8을 제외한 모든 부분에서 매우 안정적인 위치추정을 하고 있다.

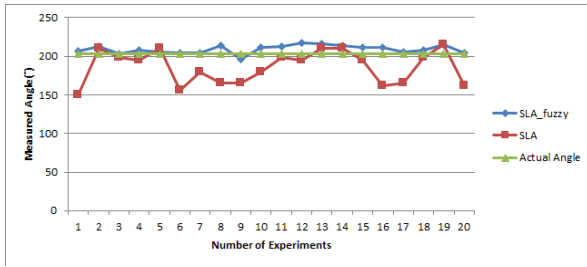


그림 9. 음원 위치추정 결과 (202.5°)  
Fig. 9. Result of Sound Source Localization. (202.5°)

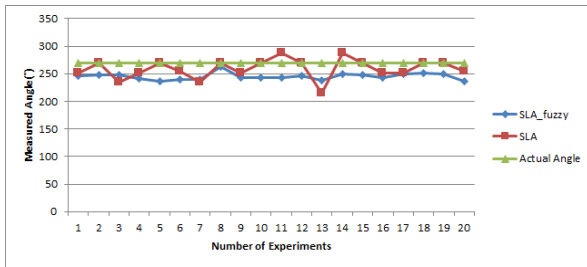


그림 10. 음원 위치추정 결과 (270°)  
Fig. 10. Result of Sound Source Localization. (270°)

*SLA\_fuzzy*와 *SLA*의 오차 표준편차는 그림 11에서 보는 바와 같이 *SLA\_fuzzy*가 *SLA*에 비해 135°의 위치에서는 약 5.3배, 202.5°의 위치에서는 약 3.9배, 270°의 위치에서는 약 2.9배 정도 낮아 안정성이 높음을 알 수 있다. 이러한 결과는 감시카메라가 빈번하게 움직이지 않고 음을 발생시킨 물체를 안정적으로 감시할 수 있음을 의미하므로 퍼지론을 이용한 음원 위치추정 알고리즘이 퍼지론을 이용하지 않은 위치추정 알고리즘보다 우수하다.

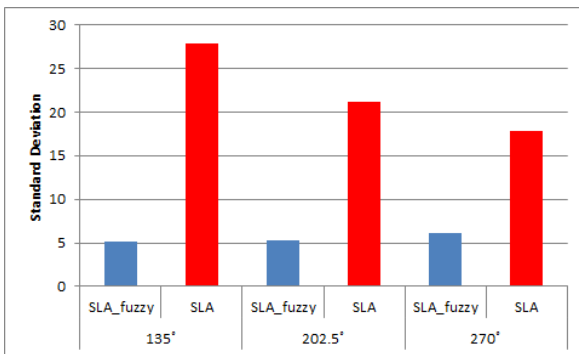


그림 11. 위치추정 오차의 표준편차 비교  
Fig. 11. Comparison of the Standard Deviation in Localization Error.

*SLA\_fuzzy*와 *SLA*의 평균오차는 그림 12와 같이 270°의 위치를 제외한 나머지 위치에서는 *SLA\_fuzzy*의 평균오차가 낮음을 알 수 있다. 270°의 위치만이 *SLA* 보다 *SLA\_fuzzy*의 오차가

큰 이유는 해당 위치에서 음원의 측정값이 불안정하여 *SLA*의 위치추정 값은 비교적 실제위치와 유사하거나 큰 오차가 발생하는 불안정한 결과를 보여주었으나, *SLA\_fuzzy*는 일정한 수준의 위치추정 오차에서 안정화된 결과를 보여주고 있기 때문이다. 그러나 두 알고리즘의 오차 평균을 구하게 되면 *SLA\_fuzzy* 보다 *SLA*가 더 정확하게 나타났다.

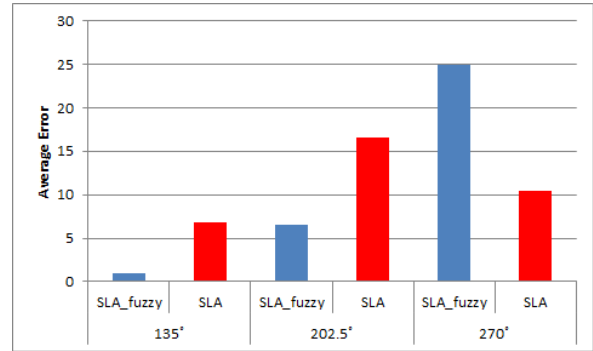


그림 12. 위치추정 평균오차 비교  
Fig. 12. Comparison of Averaged Error in Localization.

그러나 그림 12에서 볼 수 있듯이 오차 표준편차는 *SLA\_fuzzy*가 *SLA* 보다 더 낮아 실제적인 감시카메라에 적용함에 있어서 *SLA* 알고리즘은 높은 오차 표준편차로 인해 감시카메라가 계속 좌우로 회전하게 되지만, *SLA\_fuzzy*는 낮은 오차 표준편차 때문에 감시카메라의 회전 반경이 적어 동일한 장소를 계속 촬영하여 감시 효율성이 올라간다.

## V. 결 론

본 논문에서는 지하주차장에서 음의 세기를 이용한 사각지대 감시카메라용 위치추정 알고리즘에 퍼지론을 적용하여 안정성과 위치추정 정확도를 높인 위치추정 시스템을 제안하고 실제 실험을 통해 성능을 분석하였다.

성능실험 결과, *SLA\_fuzzy*는 *SLA*에 비해 위치추정 정확도가 약 29%정도 향상되었다. 오차 표준편차는 *SLA\_fuzzy*와 *SLA*의 경우 각각 16.6, 66.9로 *SLA\_fuzzy*가 *SLA*에 비해 평균 4배정도 안정적으로 나타났다. 이와 같은 성능실험 결과를 통해 지하주차장에서 *SLA\_fuzzy*가 *SLA* 보다 위치추정의 결과가 안정적으로 나타나 감시카메라용 음원 위치추정 알고리즘에 적합하다고 판단된다.

향후, 퍼지론의 퍼지집합을 경험적인 분할이 아닌 유전자 알고리즘 및 뉴런 알고리즘을 통해 분할하여 알고리즘의 안정성 및 정확성을 높이는 연구를 할 예정이다.



References

[1] C. Y. Choi, T. W. Kim, and D. M. Lee, "Suggestion of sound source based localization algorithm using arrival sequence of sound," in *Proc. 37<sup>th</sup> Conf. KIPS Spring*, pp.950-952, Suncheon, Korea, Apr. 2012.

[2] I. Everts, N. Sebe, and G. A. Jones, "Cooperative object tracking with multiple PTZ cameras," in *Proc. ICIAP 2007*, pp. 323-330, Modena, Italy, Sep. 2007.

[3] M. S. Brandstein and H. Silverman, "A practical methodology for speech source localization with microphone arrays," *Computer Speech and Language*, vol. 11, no. 2, pp.91-126. 1997.

[4] W. H. Foy, "Position-location solutions by Taylor-series estimation," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-12, no. 2, pp. 187-194, Mar. 1976.

[5] C. Y. Choi, H. C. Lee, M. K. Jung, T. W. Kim, and D. M. Lee, "The localization algorithm for blind spot CCTV using sound strength," in *Proc. KICS Winter Conf. 2012*, vol. 48, pp. 578-579, Jeju Island, Korea, June 2012.

[6] N. Baaklini and E. H Mamdani, "Prescriptive methods for deriving control policy in a fuzzy-logic controller," *Electron. Lett.*, vol. 11, no. 25, pp. 625-626, Dec. 1975.

[7] J. A. Bernard, "Use of a rule-based system for process control," *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 8, no. 5, pp. 3-13, Oct. 1988.

[8] B. B. Devi and V. V. S. Sarma, "Estimation of fuzzy memberships from histograms," *J. Inform. Sci.*, vol. 35, no. 1, pp. 43-59, Mar. 1985.

최 창 용 (Chang Yong Choi)



2008년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과 졸업  
 2010년 2월 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 석사  
 2011년 9월~현재 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 박사과정

<관심분야> 센서네트워크, 위치추정, 퍼지로지

이 동 명 (Dong Myung Lee)



1982년 2월 숭실대학교 전자계산학과(학사)  
 1990년 8월 숭실대학교 전산공학과(석사)  
 1997년 8월 숭실대학교 전자계산학과(박사)  
 1982년 3월~2000년 2월 한

국전자통신연구원 책임연구원

2000년 3월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 교수  
 <관심분야> 이동통신시스템, 센서네트워크