

# 초음파 센서를 이용한 실시간 인원 계수 알고리즘\*

양성민, 김영송, 조서형, 최재혁

가천대학교 소프트웨어학과

Ysm0622@gmail.com, imfall346@gmail.com, westbro00@naver.com, jchoi@gachon.ac.kr

## A Real-Time People Counting Algorithm using Ultrasonic Sensors

Sung-Min Yang, Young-Song Kim, Seo-Hyung Cho, Jae-Hyuk Choi

Department of Software, Gachon University

### 요 약

특정 공간내의 방문자, 고객, 승객 등의 수를 실시간으로 파악하는 인원 계수 측정 기술은 인원 통계의 분석 및 그에 대한 최적화, 다양한 스마트 서비스 개발 등을 위한 기반 기술로 널리 활용될 수 있는 중요한 기술이다. 본 논문에서는 초음파 거리 측정 센서를 이용해 특정 실내 공간의 출입을 인지하여 실시간으로 인원 계수를 수행하는 알고리즘을 제안하고, 이를 아두이노를 이용해 실제 구현한다. 다수개의 저비용의 초음파센서를 이용하여 출입하는 인원이 한 명인지 다수인지를 구분하여 정확도를 높이는 기법을 제안한다.

### 1. 서 론

특정 실내의 인구 혼잡도를 측정하는 기술은 컴퓨터 비전, 센서 등 다양한 분야에서 연구가 진행되어 왔다. [1-4] 특히 영상처리는 그 방식에 따라 특정 객체를 검출(detecting), 또는 추적(tracking)이 가능하며 비교적 높은 정확성을 가질 수 있다. 하지만, 영상 처리는 성능 높은 하드웨어와 고비용 카메라를 필요로 하고 카메라 설치의 복잡성이 따른다. [2,3]

본 논문에서는 저비용의 초음파 거리 측정 센서(HC-SR04)를 이용해 특정 실내의 인원수를 카운팅(counting)하는 알고리즘을 구현한다. 초음파 거리측정 센서는 사람의 귀에 들리지 않을 정도의 높은 주파수(약 20kHz 이상)의 소리를 발산하여 음파가 물체에 부딪혀 되돌아올 때까지의 시간을 측정함으로써 물체까지의 거리를 측정한다.

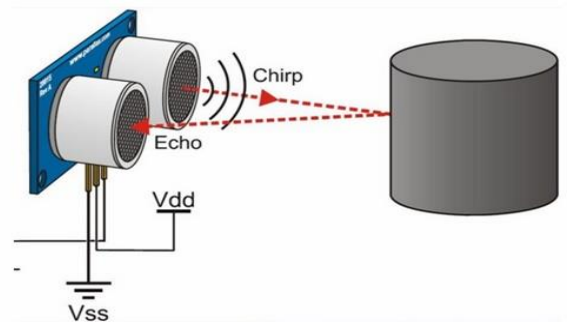


그림 1. 초음파 센서(HC-SR04) 측정 원리

음파는 15°C에서 약 340m/s의 속도를 가지며 이에 따라  $L = \frac{tv}{2}$  ( $V=340m/s$ ,  $t$ =초음파 발산(ping) 후 수신(echo) 되기 까지 시간) 공식에 의해 물체까지의 거리(L)를 측정 할 수 있다.

표 1. 초음파 센서(HC-SR04) 모듈 사양

\* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 SW중심대학지원사업 (R7115-16-1001)과 한국연구재단(NRF-2014R1A1A2053456)의 연구비 지원으로 수행되었음.

| Electrical Parameters | HC-SR04 Ultrasonic Module                        |
|-----------------------|--|
| Operating Voltage     | DC-5V  |
| Operating Current     | 15mA   |
| Operating Frequency   | 40KHZ  |
| Farthest Range        | 4m   |
| Nearest Range         | 2cm  |
| Measuring Angle       | 15 Degree  |
| Input Trigger Signal  | 10us TTL pulse                                   |
| Output Echo Signal    | Output TTL level signal, proportional with range |
| Dimensions            | 45*20*15mm                                       |

위 원리를 이용하여 그림2와 같이 초음파 센서 두 개를 인구 혼잡도를 측정하고자 하는 실내 출입구에 병렬로 설치하여 사람의 출입을 감지(count)한다. 또한 하나의 출입구에 최대 한 명씩 출입한다는 상상을 가정으로 실험을 진행하며, 다수의 인원이 출입하는 경우에 대해서는 4장 에서 다루도록 한다.



그림 2. 초음파 센서 설치 구조

## 2. 데이터 분석

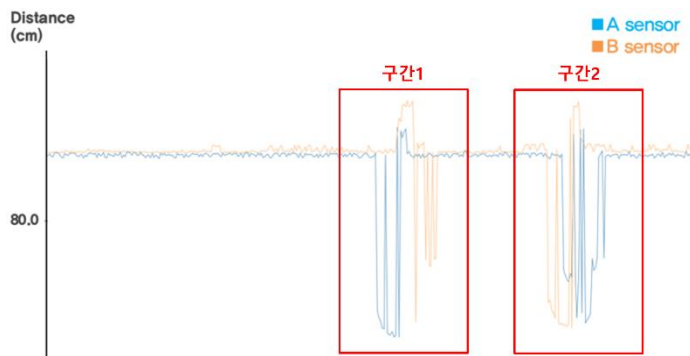


그림 3. 시간에 따른 두 센서의 거리 그래프

그림 3은 사람 한 명의 실내 출입을 측정한 그래프이다. <구간 1>은 실내로 입장할 때의 그래프이며 센서 A의 거리가 먼저 감소한 후 센서 B의 거리가 감소한다.

<구간 2>는 실외로 퇴장할 때의 그래프이며 센서 B의 거리가 먼저 감소한 후 센서 A의 거리가 감소한다.

초음파 센서는 약  $\pm 3\text{cm}$ 의 측정 오류를 가지며 사람의 옷과 같은 물체는 난반사로 인하여 잡음이 심하다. 이에 따라 초기 유헤(idle) 상태 측정값  $N$ 개를 표본으로 각 센서의 거리평균( $m$ )에  $\pm$ 표준편차( $\sigma$ )의 6배로 판단 경계(decision boundary)를 설정한다.

Sensor decision boundary :  $m \pm 6\sigma$

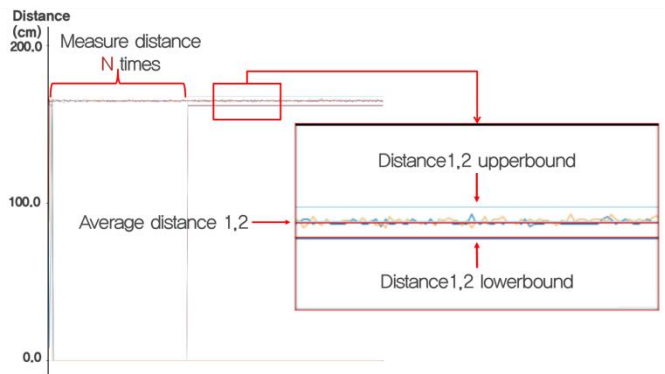


그림 4. Decision Boundary 설정 방법

그림 4는 센서의 판단 경계 설정을 나타낸 그래프다. 센서 A, B가 경계를 벗어난 시점을 각각  $t_A$ ,  $t_B$  라고 할 때,  $t_A < t_B$  이면 입장(entrance),  $t_A > t_B$  이면 퇴장(exit)이다. 각 센서 값이 이 판단 경계를 벗어나면 유헤 상태가 아닌 것(detecting)으로 간주하고 판단한다.

## 3. 실험 및 측정 결과

표 2는 각각 다른 속도로 통과한 한 명의 사람에 대해 200회씩 5번의 실험 결과를 나타내는 표이다.

표 2. 실험 및 측정 결과표

|       | 실험1   | 실험2   | 실험3   | 실험4   | 실험5   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 측정 횟수 | 200   | 200   | 200   | 200   | 200   |
| 오류 횟수 | 12    | 14    | 11    | 12    | 15    |
| 오차율   | 0.060 | 0.070 | 0.055 | 0.060 | 0.075 |

총 5번의 실험결과 평균 0.064의 오차율을 가지며, 두 가지 종류의 오류가 있음을 확인했다.

### 오류

Type 1.  $t_A = t_B$  인 경우(두 센서가 정확히 동시에 판단 경계를 벗어난 경우)

Type 2. 실제 출입과 센서 측정 결과가 다른 경우 (센서 내부 오류)

오류 Type 1은 각 센서가 다시 판단 경계로 들어온 시점을 기준으로 판단이 가능하지만, 오류 Type 2는 하드웨어 성능의 문제이다.

## 4. 개선 및 측정 결과

이전까지의 실험 과정은 출입구에 최대 한 명씩 출입한다는 가정이 있었다. 하지만 실제 환경에서는 다수의

인원이 출입구를 동시에 통과하는 경우도 존재한다. 이 같은 경우 상기한 알고리즘으로는 다수의 인원도 한 명으로 판단한다는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 새로운 접근 방법을 제시한다.

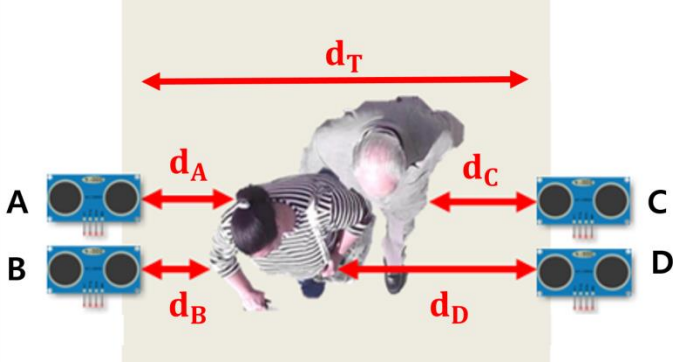


그림 5 초음파 센서 4개 배치도

그림 5와 같이 기존의 실험 환경(센서 A, 센서 B)에서 마주보는 반대편에 2개의 초음파 센서(센서 C, 센서 D)를 추가 설치한다. 유희 상태일 때의 각 센서 값의 평균을  $d_T$ , 각 센서의 측정값을  $d_A$ ,  $d_B$ ,  $d_C$ ,  $d_D$ , 출입구를 지나가는 물체의 폭을  $d_w$  라고 할 때, 다음 식을 만족한다.

$$d_w = d_T - (\min(d_A) + \min(d_C))$$

한 명이 출입할 때와 두 명 이상이 출입할 때  $d_w$  값은 비교적 차이가 크기 때문에  $d_w$ 의 판단 경계를 미리 정의하는 것으로 상기한 문제점을 해결한다. 또한 센서 2개를 추가 설치하는 것으로 기존 오차율 2%를 감소시킬 수 있다.

각 센서가 판단 경계를 벗어나는 시점을 각각  $t_{A1}$ ,  $t_{B1}$ ,  $t_{C1}$ ,  $t_{D1}$ , 판단 경계 안으로 들어오는 시점을 각각  $t_{A2}$ ,  $t_{B2}$ ,  $t_{C2}$ ,  $t_{D2}$ 라 할 때, R은 입장과 퇴장의 판단 기준이 되며 다음 식을 만족한다.

$$R = \frac{|t_{A1} - t_{B1}|}{t_{A1} - t_{B1}} + \frac{|t_{C1} - t_{D1}|}{t_{C1} - t_{D1}} + \frac{|t_{A1} - t_{D1}|}{t_{A1} - t_{D1}} + \frac{|t_{C1} - t_{B1}|}{t_{C1} - t_{B1}} + \frac{|t_{A2} - t_{B2}|}{t_{A2} - t_{B2}} + \frac{|t_{C2} - t_{D2}|}{t_{C2} - t_{D2}} + \frac{|t_{A2} - t_{D2}|}{t_{A2} - t_{D2}} + \frac{|t_{C2} - t_{B2}|}{t_{C2} - t_{B2}}$$

이 때,  $R > 0$  이면 입장,  $R < 0$ 이면 퇴장으로 판단한다.  $R=0$ 일 경우는 상기한 오류 Type 1과 동일한 경우이다. 센서 2개를 추가한 만큼 오류 Type 1이 발생하는 경우는 기하급수적으로 감소한다.

표 3은 각각 다른 속도로 통과한 두 명의 사람에 대해 200회씩 5번의 실험 결과를 나타내는 표이다.

표 3. 실험 및 측정 결과표

|       | 실험1   | 실험2   | 실험3   | 실험4   | 실험5   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 측정 횟수 | 200   | 200   | 200   | 200   | 200   |
| 오류 횟수 | 3     | 2     | 1     | 2     | 2     |
| 오차율   | 0.015 | 0.010 | 0.005 | 0.010 | 0.010 |

새로운 알고리즘으로 총 5번 (200회씩 측정)의 실험결과 평균 0.01의 오차율을 가지며, 표 2 보다 오차율이 크게 감소한 것을 알 수 있다.

## 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 초음파 센서를 이용한 실내 인구 혼잡도 측정 및 성능 향상에 대하여 분석하였다. 실생활에서 우리가 쉽게 접할 수 있는 혼잡도 정보는 교통 혼잡도 정도지만, 실내 혼잡도 정보는 유용한 정보인데 비하여 측정하기 어려운 이유에서 이용자에게 제공하기 어렵다.

향후 이러한 공공장소 혼잡도 정보를 이용자에게 어플리케이션으로 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## 6. 참조 문헌

- [1] O. Shih, and A. Rowe, "Occupancy Estimation using Ultrasonic Chirps," in Proc. of ACM/IEEE ICCPS 2015.
- [2] Terada, D. Yoshida, S. Oe, and J. Yamaguchi, A method of counting the passing people by using the stereo images, International conference on image processing, 1999.
- [3] K. Hashimoto, K. Morinaka, NK. Yoshiike, C. Kawaguchi, and S. Matsueda, People count system using multi-sensing application," in Proc. of International conference on solid state sensors and actuators, 1997
- [4] G. Conrad, and R. Johnsonbaugh, "A real-time people counter," in Proc. of 1994 ACM symposium on Applied computing, 1994.