

모바일 플랫폼 기반 협동로봇의 사용자 추종을 위한 초음파 센서 활용 기법

The Technique of Human tracking using ultrasonic sensor for Human Tracking of Cooperation robot based Mobile Platform

염승호*, 엄수홍*, 이응혁*

Seung-Ho Yum*, Su-Hong Eom*, Eung-Hyuk Lee*

Abstract

Currently, the method of user-following in intelligent cooperative robots usually based in vision system and using Lidar is common and have excellent performance. But in the closed space of Corona 19, which spread worldwide in 2020, robots for cooperation with medical staff were insignificant. This is because Medical staff are all wearing protective clothing to prevent virus infection, which is not easy to apply with existing research techniques. Therefore, in order to solve these problems in this paper, the ultrasonic sensor is separated from the transmitting and receiving parts, and based on this, this paper propose that estimating the user's position and can actively follow and cooperate with people. However, the ultrasonic sensors were partially applied by improving the Median filter in order to reduce the error caused by the short circuit in communication between hard reflection and the number of light reflections, and the operation technology was improved by applying the curvature trajectory for smooth operation in a small area. Median filter reduced the error of degree and distance by 70%, vehicle running stability was verified through the training course such as 'S' and '8' in the result.

요 약

현재 지능화 된 협동로봇의 사용자 추종 방법은 비전 시스템 기반 및 라이다를 이용한 사례가 일반적이고 성능도 우수하다. 그러나 2020년 전세계로 확산된 코로나19 사태에 폐쇄된 공간에서 의료진과 협동을 위한 로봇의 활약은 미흡한 실정이었다. 그 이유는 의료진들은 바이러스 감염 방지를 위하여 모두 방호복을 입고 있어 기존 연구된 기술로는 적용이 쉽지 않기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 초음파 센서를 송신부와 수신부로 분리하여 이를 바탕으로 사용자의 위치를 추정하고 능동적으로 모바일 플랫폼이 사람을 따라다니며 협동 할 수 있는 기법을 제안하였다. 그러나 초음파센서는 경면반사 및 수, 발신 간 통신 단락으로 인한 불규칙 오차가 발생하고, 오차를 줄이기 위해 메디안 필터 일부 개선하여 적용하였으며 협소한 공간에서 원활한 작업 수행을 위해 곡률궤적을 적용해 주행기술을 향상시켰다. 실험 결과 메디안 필터 전, 후 거리, 각도의 오차는 약 70% 감소하였으며 'S', '8'자 코스 주행을 통해 주행 안정성을 확인하였다.

Key words : Target Trajectory, Following Robot, supersonic transducers, Median Filter, Medicine Cart

* Dept. of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University

★ Corresponding author

E-mail : ehlee@kpu.ac.kr, Tel : +82-31-8041-0477

※ Acknowledgment

This research was supported by the MSIT (Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC (Information Technology Research Center) support program (IITP-2020-2018-0-01426) supervised by the IITP (Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation)

This rearsch was supported by the Assistive Technology R&D Project for People with Disabilities and the Elderly funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea(# HJ20C0058)

Manuscript received Jun. 1, 2020; revised Jun. 19, 2020; accepted Jun. 29, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

2020년 상반기에 발생한 신종 코로나바이러스 감염증(COVID19)으로 인하여 WHO에서는 팬데믹(Pandemic)을 선언하였으며 전 세계적으로 국가간, 지역사회 간 확산 방지를 위하여 발병집중지역을 폐쇄하고 감염자의 회복을 위하여 갖은 노력을 하고 있다[1]. 이러한 이유로 한정된 의료인력은 하루에도 수백명씩 증가하는 환자를 검진 및 치료하는 등 전염병의 최전선에서 힘든 싸움을 이겨내고 있는 실정이다.

이러한 한정된 의료인력을 지원하기 위해서 협동로봇이 화두가 되고 있다. 협동로봇은 인간과 작업공간을 공유하며 물리적인 상호작용을 할 수 있는 로봇을 지칭한다[2-3]. 협동로봇은 4차 산업에 진입하면서 연평균 68% 수준의 초고속 성장을 하고 있으며 2020년 이후 세계적으로 6조 5000억원 이상의 규모로 시장이 확대될 것으로 전망되고 있다[4].

현재 의료지원을 위한 협동로봇은 진료카트로봇, 자율 급식 이동로봇 등이 있으며 실제 의료진과 근접 위치에서 활용가능한 상용 제품으로는 엔티로봇사의 CareMeal, Sbot2-MD, Twinny사의 따르고, 유진로봇사의 고카트 등이 대표적인 추종형 협동로봇이다[5-6].

실내 협동로봇의 작업자 추종 방법은 활용공간의 위치추정을 위하여 비전 시스템을 이용한 실내 특징 기반 위치추정 기술, 마커 기반의 위치 추정 기술, 작업자의 얼굴 인식을 통한 객체 추정 기술, 통신 모듈의 전파 세기 및 데이터 전송 시간 등을 활용한 실내 특위 기술 등을 활용하고 있으며 객체의 추정 인식률도 매우 높은 수준이다[7-9].

그러나 이 같은 기술개발 달성에도 불구하고 코로나19사태에서 의료진과 협동하여 한정된 의료인력을 지원한 로봇은 미미하다.

코로나19사태에서는 의료인력들이 바이러스 감염 방지를 위해 모두 방호복을 입고 있어 기존에 비전 시스템으로 연구 개발된 사용자 객체 추정 기술 적용에 애로사항이 발생했으며, 급작스럽게 꾸려진 의료 환경에 실내 측위 기술이 적용이 쉽지 않기 때문이다[10-12].

따라서 코로나19 사태 이전 협동로봇에서 사람을 추종하기 위하여 적용된 적외선 센서, 비전 시스템, 3D 라이더 등이 무용지물 된 실정이다[13-14].

본 논문은 이처럼 특수한 상황에서 언제든지 의료인력을 따라다니며 수발하기 위한 협동로봇 개발을 위하여 초음파 센서를 활용한 객체 추정 기법을 제안한다.

초음파 센서는 과거부터 현재까지 측정 대상과의 거리를 측정하는데 활용된 센서로 초음파를 송신하는 송신부와 대상체에 반사되어 돌아오는 값을 수신하기 위한 수신부로 구성된 한 쌍의 센서이며 일반적으로 하나의 모듈에 송/수신부를 일체화 한다[15].

그러나 본 논문에서는 초음파 센서의 거리 측정 원리를 활용하여 초음파의 송신부와 수신부를 분리하여 각각의 모듈로 사용하고 초음파 송신부는 1개가 아닌 2개를 사용하여 측정 거리뿐만 아니라 추종하고자 하는 대상의 위치를 측위 하고자 한다.

하지만 송/수신부가 분리된 초음파센서의 계측값은 경면반사 현상 및 수, 발신 간 통신 단락으로 인해 불규칙 오차(Random Error)가 포함된다.

따라서 계측된 데이터의 신뢰도 향상을 위하여 메디안 필터(Median Filter)를 일부 개선하여 적용, 비선형 데이터에 대하여 오차 최소화 하였다.

또한, 의료진과 협소한 공간에서도 밀착하여 원활한 협동작업을 수행 가능하도록 협동로봇의 이동 플랫폼을 차륜형 모바일 플랫폼으로 선정 하여 실제 측위된 값으로 의료 작업자를 추종 하도록 하였다.

모바일 로봇의 주행 제어는 곡률궤적 기법을 적용하였다. 초음파 센서로 추정된 측위 데이터는 작업자와 로봇 간의 거리, 각도 데이터로 이를 바탕으로 현재 모바일 플랫폼의 위치에서 곡률궤적 기법을 적용해 작업자를 추종할 경로를 계획하고, 계획된 경로에 대한 제어기를 설계하여 정밀하고 안정적인 주행 제어를 하였다[16-17].

본 논문에서 제안한 기법을 검증하기 위하여 가로, 세로 600cm × 400cm 환경에서 주행 경로 비교를 통해 신뢰성을 확인하였다. 검증 공간의 영역은 국내 4인실 병동 공간 설계 기준을 참조하여 설정하였다[18].

II. 본론

2.1 사용자 추종을 위한 기술

현재 협동로봇에 활용되는 사용자 추종 기술은

무선 통신(LTE, Wi-Fi, Bluetooth, UWB 등)의 전파 세기를 활용한 위치 측위 기반 추종 기술, 관성 센서를 활용한 추측항법 측위 기술 그리고 비전 시스템을 활용한 사용자 추종 기술이 대표적이다[19].

Wi-Fi, Bluetooth를 이용하여 사용자를 추종하는 방법은 실내에 설치된 Wi-Fi AP(Access Point)로부터 측정되는 단말기의 전파수신강도(Received Signal Strength Indicator, RSSI)를 이용해 로봇이 단말을 추종하는 기술이다. 하지만 Wi-Fi 신호의 음역 지역 없이 모두 AP를 설치하기엔 시간과 비용적인 한계로 인하여 즉각적인 활용은 현실적으로 어려운 문제가 있어 본 논문에서 제기한 상황에서는 활용이 쉽지 않다[19-20].

UWB는 점유 대역폭이 중심 주파수의 20% 이상으로 초광대역 주파수를 이용해 기존 무선 통신 기반 위치 측위 방식에 비해 높은 거리 정확도를 보장한다. 하지만 활용공간의 충분한 환경적 요소를 고려하여 캘리브레이션을 하지 않는다면 의도하지 못한 장애물로 인하여 전파의 회절, 반사 등에 의해 비롯되는 다중경로 등의 영향으로 오차가 증가되는 문제가 있다[21].

이에 무선 통신 인프라에 기반을 둔 추종 기술의 단점을 보완하고자 별도의 인프라 구축 없이 즉각적인 사용을 위해 센서, 카메라 기반 사용자 위치 인식 및 추종 기술들이 있다.

관성센서 기반 단말 위치 측위 기술은 단말 내부에 부착된 관성센서(가속도계, 자이로계, 지자계)를 이용해 기준 위치로 이동된 방향, 거리를 바탕으로 현재 위치를 추정한다. 그렇기 때문에 해당 방법은 장시간 사용 시 위치 추정에 대한 누적 오차가 발생하여 절대 위치의 보정을 하는 등 별도의 보완 기술이 요구된다. 또한 측위 대상이 관성센서가 부착된 단말이기 때문에 본 논문에서 활용하고자 하는 환경에 적용하기 위해서는 추가적인 기술이 요구된다.

비전시스템을 이용한 추종 방법은 카메라로부터 얻는 정보를 토대로 취득된 위치 정보와 환경정보로부터 사용자와 장애물을 인식 후 이동 경로 방향을 결정하고 제어한다. 하지만 최근 발생한 코로나 19와 같이 방호복을 입고 환자를 진료하는 병동 및 폐쇄 구역의 경우 상기 방법을 적용한 추종법은 동일한 색상의 방호복으로 인해 카메라가 특징점을 놓쳐 원활한 추종이 쉽지 않다.

따라서 본 논문에서는 현재까지 높은 추종 인식을 갖는 기술과 달리 별도의 설치 및 캘리브레이션 작업 없이 즉각적으로 활용 가능한 방법을 제안한다.

2.2 초음파 센서를 활용한 협동로봇의 측위 방법

본 논문은 특징점이 없는 제약된 환경에서 협동로봇이 의료인 추종을 위한 방법으로 초음파 센서를 활용한 측위 기법을 제안한다.

제안은 초음파 센서 송신부 두 개를 협동로봇의 좌우 동일 한 위치에 위치하고 수신부는 한 개만 사용하여 의료인 신체에 부착 하는 방법이다. 그리고 수신부에서 측정된 두 개의 초음파 신호는 거리로 환산하여 R/F 무선통신으로 협동로봇으로 송신한다. 이러한 센서 구성은 어떠한 환경일 지라도 협동로봇과 초음파 수신모듈간의 거리를 각각 위치한 송신부 기준으로 추정이 가능하기 때문에 협동로봇으로부터 수신모듈의 위치 측위를 거리와 각도로 산출이 가능하다.

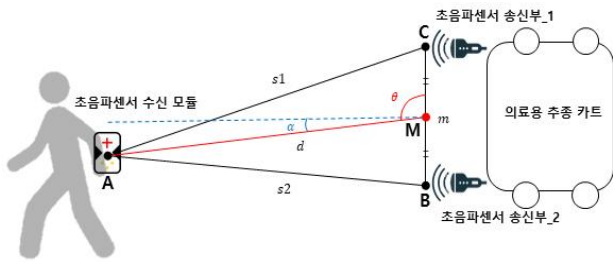
또한 초음파를 송신하는 시점을 초음파 수신모듈에서 R/F로 지정하기 때문에 측위를 위한 협동로봇에서 송신한 초음파 신호 이외의 초음파 신호를 수신하더라도 어느 정도 필터링이 가능한 장점이 있기 때문에 이러한 방법을 제안 및 적용하였다.

2.2.1 제안한 초음파 센서 구성 기반 협동로봇의 측위 방법

협동로봇의 좌우 양쪽에 위치한 초음파센서 송신부는 수신부로부터 수신된 송신 플래그 신호에 따라 초음파를 송신하며 이를 초음파 수신 모듈의 수신기에서 수신하여 두 개의 송신 모듈로부터 각각 거리 값으로 환산한다. 그 후 각기 다른 두 거리 값을 아폴로니오스 중선 정리(Apollonius' theorem) 이론을 활용하여 협동로봇 좌우에 위치한 초음파 송신모듈의 중심과 수신모듈간의 각도를 추정한다.

제안하는 초음파 측위 방법의 개념은 그림 1과 같다. 아폴로니오스 중선 정리에 따르면 의료용 추종 카트의 좌우 양쪽에 위치한 초음파 센서의중점인 M과 초음파 수신 모듈을 이은 d^2 과 $(\frac{m}{2})^2$ 의 합에 2를 곱한 값은 수신 모듈과 좌, 우 초음파센서 송신부의 거리 s_1^2 과 s_2^2 의 합과 같다. 중선 정리의 공식은 식(1)과 같다. 따라서 수신 모듈과 의료 카트 사

이 거리 d 는 식 (2)와 같이 도출된다[22].



- * m = 송신부1과 송신부2 사이 거리
- * s_1 = 수신모듈과 송신부1 과의 거리
- * s_2 = 수신모듈과 송신부2 과의 거리
- * d = 수신모듈과 카트 중점 사이 거리
- * α = 수신모듈과 카트 중점 사이 각도

Fig. 1. The process of deriving distances and angles using median theorem.

그림 1. 중선 정리를 이용한 거리, 각도 도출 과정

$$s_1^2 + s_2^2 = 2(d^2 + (\frac{m}{2})^2) \tag{1}$$

$$d = \frac{\sqrt{(s_1^2 + s_2^2) - 2(\frac{m}{2})^2}}{\sqrt{2}} \tag{2}$$

초음파 수신모듈과 협동로봇 사이 거리 d 계산 후 제2 코사인 법칙을 이용하여 협동로봇의 중점과 초음파 수신모듈 사이 $\angle\alpha$ 값을 알 수 있다. $\angle\alpha$ 값은 식(5)와 같이 $\angle\theta$ 값으로 비롯되며 $\angle\theta$ 값을 도출하기 위하여 식(3)을 활용하여 식(4)로 계산한다.

$$\cos(\theta) = \frac{d^2 + (\frac{m}{2})^2 - s_1^2}{2d(\frac{m}{2})} \tag{3}$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{d^2 + (\frac{m}{2})^2 - s_1^2}{2d(\frac{m}{2})}\right) \tag{4}$$

$$\alpha = (\theta - 90)^\circ \tag{5}$$

2.2.2 측위 정밀도 향상을 위한 방법

제한한 측위 방법은 초음파 센서를 활용하였기 때문에 초음파 센서의 거리 측정 시 발생하는 경면 반사 및 임펄스성 노이즈 제거가 필요하다.

노이즈 제거를 위하여 그림 2와 같이 우선적으로 초음파 센서의 스펙을 일부 제한하였다. 제한한 초음파 센서의 임계값은 실험을 통하여 결정한다. 조정된 초음파 센서로 측정 가능한 범위는 초음파 송

신모듈 좌우 각각 α° 사이에서 타겟을 감지할 수 있도록 설정하였고 $-\alpha^\circ$ 와 α° 이외의 각도는 β° 로 설정해 측정 불가능하도록 하였다. 이같이 설정한 이유는 초음파의 측정 가능한 빔폭 임계 범위에서 대상을 계측할 때 예기치 못한 왜란이 증가하기 때문이며 이러한 방법은 고역 차단 필터를 사용한 것과 유사한 결과를 얻기 때문이다[23].

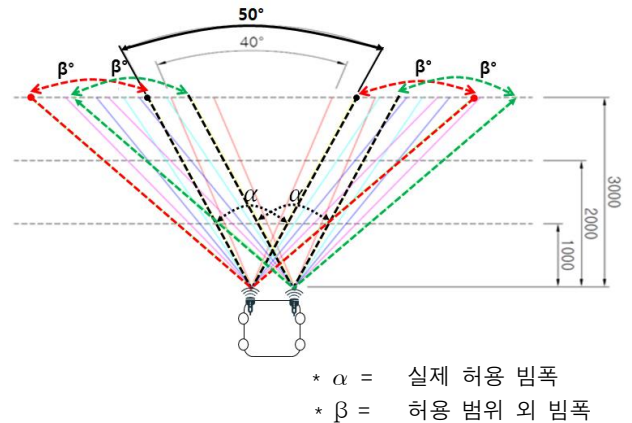


Fig. 2. Target Detection of distance and angle.

그림 2. 객체 감지 거리 및 각도

두 번째로는 S/W적인 필터 기법을 활용하였다. 앞서 초음파센서 자체에서 발생하는 노이즈 제거는 하였지만 불규칙한 지형 및 물체로 인해 반향파가 개입하여 수신 강도에 영향을 미치는 경우에 대한 대응은 앞서 제기한 방법으로는 한계가 있다. 따라서 불규칙 오차를 줄이기 위한 방법으로 다양한 필터가 존재하며 이동 평균 필터(Moving Average Filter), α 절삭 평균 필터(Alpah-Trimmed Mean Filter), 가중 평균 필터(Weighted Mean Filter), 메디안 필터(Median Filter) 등이 있다[24-27].

이동 평균 필터는 n 개의 데이터 수집 후 평균을 내는 원리를 통해 잡음을 감소시키는 필터이지만, 이동하는 객체의 급변하는 거리, 각도의 평균을 낸 추종은 지연시간을 발생시키고, 오차가 누적돼 안정적 제어가 불가능하다.

절삭 평균 필터는 주로 영상처리에서 많이 쓰이며 다수의 데이터 취합 후 선정된 α 값에 수렴하는 값을 추출하는 필터다. 하지만 초음파 값에 대한 적절한 α 값을 상황에 따라 선정할 수 없다.

가중 평균 필터는 과거의 값과 현재값의 차이에 따라 가중치를 부여하는 필터로, 현재 값이 노이즈 일 경우 노이즈에 대한 가중치가 커져 오차를 가중

시키는 현상을 발생시킬 수 있다.

메디안 필터는 다수의 데이터를 취합해 중간값인 메디안 추출 후 잡음을 없애는 필터이다. 하지만 메디안 추출 후 초기화 과정을 거친 버퍼는 사용자가 설정한 n개의 데이터 수집 시 발생하는 시간 지연으로 인해 안정적 주행이 어렵다.

따라서 안정적 주행을 위해 일반적인 메디안 필터(Median Filter)를 개선, 적용하여 비선형 데이터에 대한 시간 지연을 줄이고 오차 최소화 하고자 한다.

본 논문에서 적용한 개선된 메디안 필터는 그림 4의 순서도와 같으며 메디안 추출 후 중간 Index 버퍼에 다음 데이터를 삽입해 퀵 정렬(Quick Sorting) 후 메디안을 추출하는 방법이다.

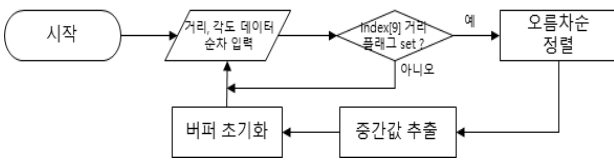


Fig. 3. The general median filter block diagram.
그림 3. 일반적인 메디안 필터 블록도

해당 방법은 기존 메디안 필터와 초기 메디안을 추출하는 과정은 같지만, 두 번째 메디안 추출 시점부터 알고리즘의 순서가 달라진다. 따라서 모든 데이터를 초기화하지 않고 메디안을 추출한 Index만 초기화해 데이터 수집 시 발생하는 시간 지연을 원활한 주행을 위한 유연한 대처가 가능하다.

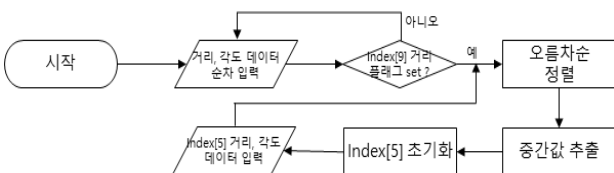


Fig. 4. Proposed median filter block diagram.
그림 4. 본 논문에서 제안한 변형 메디안 필터 블록도

초음파센서의 측정이 시작되면 표 1.의 기존 메디안 필터를 사용한 거리 데이터 예시는 비어있는 버퍼(Empty Buff)에 9개의 거리 데이터(Input Data)가 저장된다. 버퍼가 다 차면 퀵 정렬(Quick sorting)을 이용해 오름차순 정렬 후 메디안을 추출해(Select Median) 주행을 위한 제어 데이터(Median)로 사용한다. 메디안 추출 후 버퍼를 초기화해 다시 상기

순서를 반복한다. 이에 상기 순서의 반복 시 소요 시간이 길어져 유연한 대처를 할 수 없다.

Table 1. An Application for Orign Median Filter Use for distance.

표 1. 기존 메디안 필터를 사용한 거리 데이터 예시

	Byte									Duration of time(s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Empty BUFF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Input Data	-1	6	0	-1	5	4	3	3	-3	0.54
Quick Sorting	-3	-1	-1	0	2	3	3	5	6	0.54
Select Median	-3	-1	-1	0	2	3	3	5	6	0.54
BUFF(Initialization)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.54
Input Data	5	1	4	-2	0	0	-4	-2	6	1.08
Quick Sorting	-4	-2	-2	0	0	1	4	5	6	1.08
Select Median	-4	-2	-2	0	0	1	4	5	6	1.08
BUFF(Initialization)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.08
Input Data	-2	-4	-2	0	1	2	-5	2	6	1.62
Quick Sorting	-5	-4	-2	-2	0	1	2	2	6	1.62
Select Median	-5	-4	-2	-2	0	1	2	2	6	1.62

따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서 제안하는 메디안 필터의 개선방법은 표 2와 같다. 기존 메디안 추출 후 버퍼의 전체 초기화가 아닌, 추출된 메디안에 해당하는 버퍼만을 초기화해 다음 데이터 취득 후 메디안 추출 시 소요되는 시간을 80%이상 줄여 시간 효율성 및 급변하는 거리 데이터에 대해 유연성을 확보하였다. 개선된 메디안 필터의 소요시간 도출은 퀵 정렬과 메디안을 추출하는데 상기 두 필터 모두 동일하기 때문에 고

Table 2. An Application for Adapted Median Filter Use for distance.

표 2. 적용한 메디안 필터를 사용한 거리 데이터 예시

	Byte									Duration of time(s)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Empty BUFF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Input Data	-1	6	0	-1	5	4	3	3	-3	0.54
Quick Sorting	-3	-1	-1	0	2	3	3	5	6	0.54
Select Median	-3	-1	-1	0	2	3	3	5	6	0.54
BUFF	-3	-1	-1	0	-	3	3	5	6	0.54
Input Data	4	-3	-1	-1	0	4	3	3	5	0.6
Quick Sorting	-3	-1	-1	0	3	3	4	5	6	0.6
Select Median	-3	-1	-1	0	3	3	4	5	6	0.66
BUFF	-3	-1	-1	0	-	3	4	5	6	0.66
Input Data	-2	-3	-1	-1	0	-2	3	4	5	0.72
Quick Sorting	-3	-2	-1	-1	0	3	4	5	6	0.72
Select Median	-3	-2	-1	-1	0	3	4	5	6	0.72

려하지 않았고 실질적인 시간차를 보이는 초기화 후 버퍼를 채우는 과정에 대해서만 소요시간을 고려하였다.

세 번째는 다중 초음파센서 구동 환경을 고려해 인접 장치와의 혼선(Cross Talk) 해결을 위해 발화자 통신 확인 방식의 알고리즘을 도입하였다. RF 동기 신호 중 정상적인 초음파 신호의 중첩이 발생하지 않는 상황에서 고유의 코드화된 정보를 통해 원하지 않는 코드는 수신되어도 필터링 되도록 하였다. 혼선 시 신호 처리 구조 예시의 그림 5와 같다.

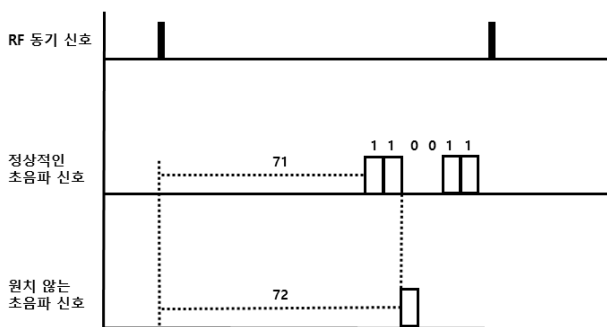


Fig. 5. The structure of signal processing in case of cross talk.

그림 5. 혼선 시 신호 처리 구조

RF 동기 신호 사이 정상적인 초음파 신호에 추가된 코드 발생이 필요하나 정상적인 초음파센서의 필요 코드값이 110011이므로 이에 AND 연산을 해 코드값을 추측할 수 있다.

본 논문은 해당 알고리즘을 도입해 다중 초음파센서 운용 시 신호 간 혼선이 발생해도 원하는 신호를 필터링해 불규칙 오차를 줄이는데 기여했다.

2.3 모바일 협동로봇의 추종 경로 설정 방법

시시각각 변칙적으로 이동하는 의료인의 위치로 추종하기 위한 최적 경로를 생성하기 위해 곡률 궤적을 통한 경로 계획을 수립하였다. 로봇의 정면에서 θ_R 만큼 기울어진 방향에 거리 D만큼 떨어진 위치에 타겟이 위치한 경우, 회전반경 R은 그림 5과 같이 나타낼 수 있다. 이때 이동로봇의 순간회전중심 ICR은 로봇의 양쪽 바퀴와 동일선상에 존재하며, 모바일 로봇의 현재 위치 그리고 타겟 위치와 항상 이동변 삼각형을 이룬다[28]. R에 따라 양쪽 구동부의 속도 v_L, v_R 가 유도되고 이동로봇의 주행 곡선은 두 구동부의 속도비에 의해 결정된다.

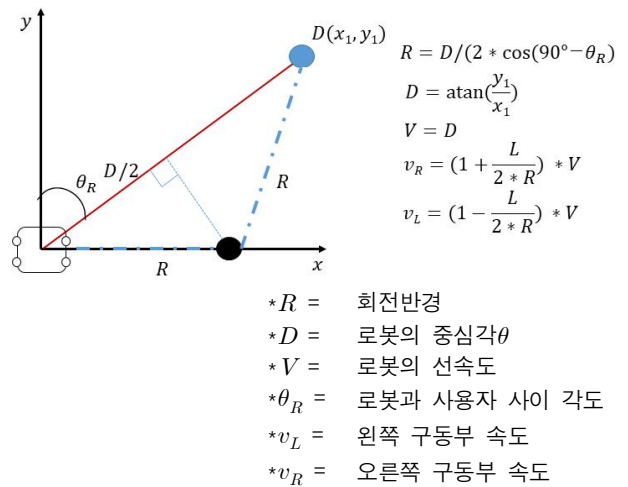


Fig. 6. Path generation through curvature trajectory.

그림 6. 곡률궤적을 통한 경로생성

곡률궤적을 통해 계획된 경로의 안정적 주행을 위해 제어를 설계하였으며 제어기는 피드포워드, PID제어, 가감속 제어 등으로 구성된다. 초음파센서로부터 도출된 거리, 각도 데이터는 곡률궤적을 통해 회전반경 R과 곡률궤적 S로 도출되고, 속도 변환기를 통해 목표 각도와 속도 및 각속도로 변환된다. 변환된 데이터는 목표 v_L, v_R 의 기반이 되고 PID 제어와 가감속 제어를 통해 두 구동부의 속도로 적용된다. 적용된 속도는 목표 속도와 차만큼 더해 안정적 주행 제어를 하였다.

III. 실험 및 결과

3.1 실험 환경 및 H/W 구성

3.1.1 실험 환경

본 논문은 제약된 실내 환경에서 의료인을 추종하며 원활한 협동 업무가 가능하도록 초음파 방식의 추종 방법을 제안하였다. 제안한 이론에 대한 정량적 검증을 위하여 그림 6의 실험환경을 꾸몄으며 이동로봇이 의료인 추종 시 이탈 가능성이 높은 곡선 환경('S'자, '8'자)에서의 주행 실험을 통해 추종의 안정성을 확인하였다.

구축한 실험 환경은 가로, 세로 600cm x 400cm 환경에 100cm마다 마킹이 되어 있으며 곡률 주행 실험을 위해 지름 3m의 원과 높이 6m의 S자 주행 궤적을 추가로 제작하였다. 이는 국내 4인실 병동 설계 기준을 참조하였으며, 해당 규격에서 협동로봇이 의료인을 잘 추종 하는지 검증하였다.

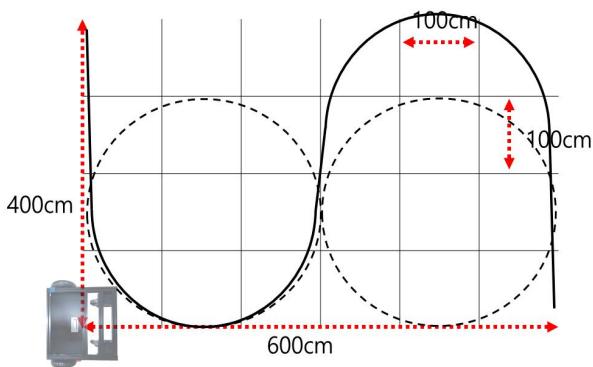


Fig. 7. Experimental environment.
그림 7. 실험환경



Fig. 8. Actual driving environment.
그림 8. 실제 주행 환경

3.1.2 H/W 구성

본 논문에서 제시하는 이론의 검증을 위하여 그림 9과 같은 모바일 로봇을 활용하였다. 규격은 가로×세로×높이 480×495×830(mm)이며 초음파 송신 모듈은 의료인의 허리 부근에 부착될 초음파 수신 모듈의 높이를 고려하여 지면으로부터 약 80cm 높이에 부착하였다. 초음파 센서는 센서택 사의 STMA-506ND3에서 송/수신부를 분리하여 재설계하여 사용하였고 원격 데이터 전송을 위하여 Texas Instruments 사의 CC112 R/F 모듈을 사용하였다.

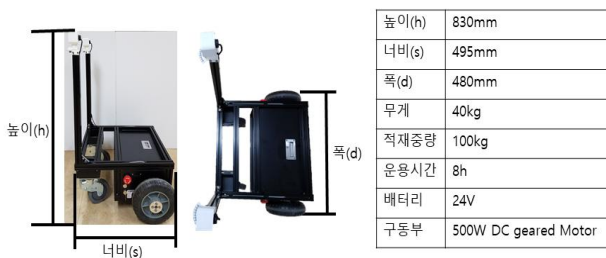


Fig. 9. The specification of medical following cart platform.
그림 9. 의료용 추종 카트 플랫폼 제원

초음파 수신부 모듈의 규격은 35×93×15(mm)이고 의료인이 방호복을 입고 부착할 수 있도록 클립 형태로 케이스를 제작하였다. 초음파 수신은 Vurch

사의 V1000PW21B를 활용하였고 데이터 전송을 위한 무선 모듈은 Texas Instruments사의 CC112 R/F 모듈을 적용하였으며 배터리는 리튬폴리머 400mA를 적용하였다.

초음파 수신부 모듈의 사용 시간은 최대 전력 사용 시 평균전류 75mA를 소모하며 이 경우 약 5시간 반 동안 사용 가능하다.



Fig. 10. The transmitter of user position.
그림 10. 사용자 위치 송신부

3.2 실험 방법

본 논문의 의료용 추종 카트 시스템은 사용자와의 거리와 각도를 알기 위해 송, 수신부로 나뉜 초음파센서를 사용하였다. 초음파 수신 모듈의 전원을 인가하면, 추종 관련 프로세스가 시작되고 RF 통신을 통해 65ms 주기로 초음파 송신 모듈에 왼쪽, 오른쪽의 초음파 송신을 번갈아 가며 요청한다. 이때 설정한 65ms 주기는 왼쪽 초음파가 쏜 음파와 오른쪽 초음파가 쏜 음파 간 상호 간섭을 배제하고 음속과 송신 거리를 고려해 설정하였다. 왼쪽 초음파 송신요청 시 오른쪽 초음파의 수신시간을, 오른쪽 초음파 송신요청 시 왼쪽 초음파 수신시간을 전송해 RF전송이 완료되는 시점을 확인하였으며 수신된 데이터의 시간 계산 후 초음파 수신을 종료하였다.

변환된 거리 및 각도 데이터는 로봇의 제어 드라이버로 전송되며 곡률궤적을 이용해 속도 v_L , v_R 로 유도되고 정밀한 제어를 위해 피드포워드, PID제어, 가/감속제어 등으로 구성된 제어기를 설계 적용하였다.



Fig. 11. The simulation of following.
그림 11. 추종 시뮬레이션

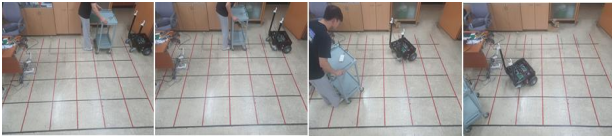


Fig. 12. The simulation of moving trajectory.
그림 12. 곡률계적 시뮬레이션

3.3 실험 결과

본 논문은 초음파센서의 경면반사 현상 및 수, 발신 간 신호 간섭으로 인한 불규칙 오차 및 시스템 오차를 줄이기 위해 메디안 필터를 개선하여 거리, 각도에 대한 오차를 최소화하고자 제안하였다.

제한한 방법의 정량적 평가를 위하여 실험은 정지 상태의 플랫폼에서 초음파 수신모듈로 수신되는 데이터를 개선된 메디안 필터 적용 유/무에 따른 데이터 변화를 비교하였다. 실험 결과는 그림 13, 14와 같으며 거리 최대오차 25mm에서 10mm로 감소됨을 확인하였고, 각도 최대오차 6°에서 2°로 감소됨을 확인하였다. 이러한 결과는 제안한 개선된 메디안 필터가 일반적인 메디안 필터보다 거리와 각도가 약 60% 향상됨을 의미한다.

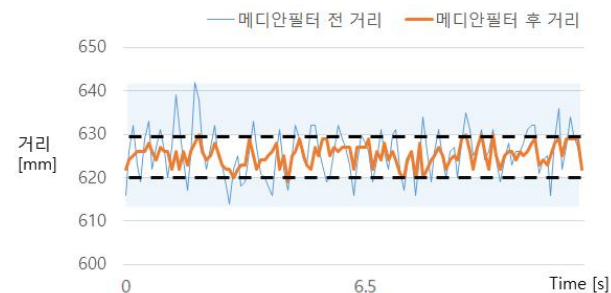


Fig. 13. The distance of using median filter before and after.
그림 13. 메디안 필터 적용 전, 후 거리



Fig. 14. The angle of using median filter before and after.
그림 14. 메디안 필터 적용 전, 후 각도

협동로봇으로부터 측위된 의료인의 위치 정보를 바탕으로 추종이 바르게 되는지에 대한 평가는 다음과 같이 수행하였다.

본 논문에서 제안된 정확도 향상 기법 적용 유/무에 따라 ‘S’자, ‘8’자로 이동 경로를 표시하고 피험자가 초음파 수신부를 허리에 부착하여 시속 4km/h 속도로 보행을 하여 데이터를 취득하였다. 평가 결과 그래프는 그림 15, 16과 같다.

그림 15는 ‘S’ 형태의 경로를 피험자가 이동할 때 협동로봇이 추종한 그래프로 비교적 안정적인 추종이 이루어진 것으로 확인된다.

그러나 필터 적용 전 주행곡선 중 (a)구간은 추종카트가 곡률을 그리기 전 선형적 주행 궤적 추종 중 초음파센서의 불규칙 오차에 따른 주행의 불안정함을 보였다. 이는 선형적 주행 궤적임에 불구하고 초음파센서의 각도 데이터에 오차가 발생해 흔들린 현상이다.

(b)구간은 곡률계적 구간 주행 중 사용자와 추종로봇 간 일정 거리 및 각도 차이가 난 경우 초음파 모듈의 감지 거리 오차로 인해 추종 중 유연한 곡선을 따라 하지 못하고 지연된 반응을 가지며 회전함을 보였다.

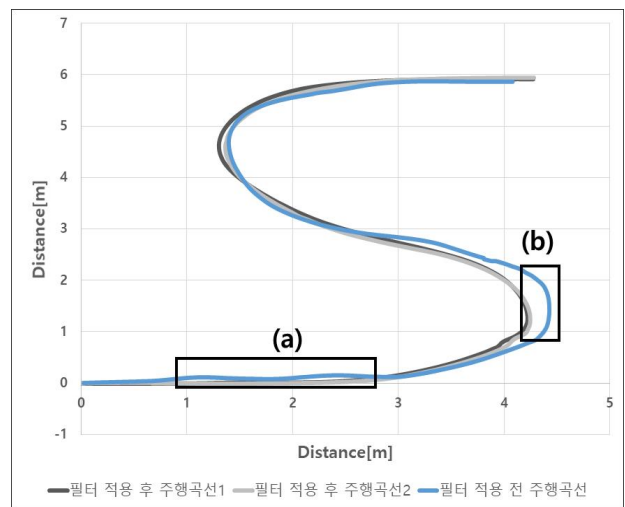


Fig. 15. The variation of driving curve using filter with or not.
그림 15. 필터 적용 유/무에 따른 주행 곡선 변화

그림 16은 ‘8’ 형태의 경로를 피험자가 이동할 때 협동로봇이 추종한 그래프이다. ‘8’ 형태의 이동 경로 검증은 추종 시 이탈 가능성이 비교적 높은 경로이기 때문에 제안한 방법의 검증 경로로 설정하였다.

실험은 협동로봇이 일정 거리를 두고 피험자로부터 수신되는 측위 정보에 따라 추종한 경로를 반복하여 추종 궤적을 누적하여 정확도를 평가 하였다.

그림 16의 그래프에서 점선은 사용자의 궤적이며, 실선은 이동로봇의 실제 이동 좌표를 나타냈다. 사용자 추종 실험의 (a) 구간은 안전상 사용자와 일정 거리를 두며 추종하는 카트의 특성상 앞서 진행한 사람의 위치는 곡률을 그리며 상당히 걸어가고 난 후기 때문에 지연 시간을 갖고 (a)와 같이 곡률을 그리며 사람을 추종한다. 두 원의 교차 지점을 지난 후 추종 카트의 오른쪽 회전 시 오른쪽 구동부에서 왼쪽 구동부로 바깥 궤적에 대한 구동축의 변화로 추종 카트의 이동 궤적은 (b)와 같다.

반복적인 이동궤도 실험을 통해 추종 카트의 곡선 경로에 대한 유사한 궤적을 보였으며 이탈 없이 유연한 곡선을 그리며 안정적 주행 및 추종을 확인하였다.

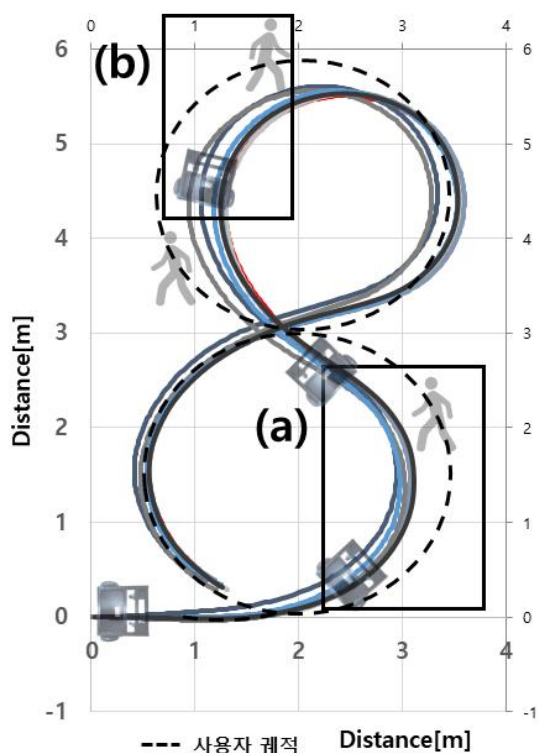


Fig. 16. User following experiment through '8' course driving.
그림 16. '8'자 주행을 통한 사용자 추종 실험

IV. 결론

본 논문은 코로나19로 인한 발병집중지역과 같은 폐쇄된 환경에서 의료인과 로봇이 협동작업을 수행하기 위하여 초음파 센서를 활용한 측위 방법과 이를 활용한 추종 방법을 제안하였다.

제안한 방법은 초음파센서를 송신부와 수신부로

분리하여 이를 바탕으로 모바일 플랫폼이 사용자의 위치를 추정하고 능동적으로 사람을 따라다니며 협동할 수 있는 기법이다. 그러나 초음파센서는 경면반사 및 수, 발신 간 통신 단락으로 인한 불규칙 오차가 발생하기 때문에 오차를 줄이기 위해 일관적인 메디안 필터를 개선 적용하였으며, 협소한 공간 내 원활한 주행을 위해 곡률궤적을 이용해 안정적 주행을 하였다.

실험을 통해 초음파센서의 거리 및 각도 오차를 약 70% 감소시켰으며 안정적 추종을 확인하기 위해 '8'자 주행 코스를 반복해 주행 안정성을 확인하였다.

이에 의료진과 협소한 공간에서도 긴밀히 밀착하여 원활한 협동작업 수행 능력을 갖는 차륜형 모바일 플랫폼 시스템을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 시스템을 코로나19사태와 같은 방호복 등 특수 목적 용도의 옷을 입고 환자를 진료하는 병동 등에 실 도입을 통해 별도의 설치 없이 즉각적 추종이 가능하며 의료인의 불필요한 동선을 줄여 업무 효율성을 높이며 의료인과 긴밀히 협업할 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 비정상적 회전을 통해 초음파센서의 허용 입사각 범위 밖의 측정치에 대한 원활한 추종을 위해 모바일 플랫폼 양단에 부착된 초음파센서에 다이내믹셀을 결합해 사용자를 놓칠 시 데이터의 경향을 분석해 모터를 구동시켜 사용자를 찾아 추종할 수 있도록 한 연구가 필요할 것이다.

References

- [1] Chang. In. Seok. "COVID-19 Pandemic Economy Crisis and Response," *Urban Infromation Service*, no.547, pp,18-20 2020.
- [2] Lim, Tai Hun. "A Research on the Convergence Characteristics of Collaborative Robot Design," *The Korean Society of Science & Art*, Vol.38, No.2, pp.257-266, 2020.
- [3] Se. Woong. Jun, Byung. Jin. Jung. "The trends of Cooperative Robot," *The Korean Institute of Electrical Engineers*, pp.22-26, 2019.
- [4] "World Robotics 2018, International Federation Robotics(IFR)," October. 2018.
- [5] Jae. Yeon .Lee, Seo. Hyun. Jeon, Chan. gyu.

- Park, "Development of Logistics Delivery Robot for Metropolitan Hospital Environment," *Society for Computational Design and Engineering*, pp. 177-186, 2015. DOI: 10.1016/j.dcan.2015.03.001
- [6] Soon. Chul. Gwon, Gm. Joo. Lee, "Current Status and Performance of the National Rehabilitation Center Medical Rehabilitation Robot Supply Project," *Korea Robotics Society*, no,17, pp.22-27, 2020.
- [7] S. Mazuelas, A. Bahillo, R. M. Lorenzo, P. Fernandez, F. A. Lago, E. Garcia, J. Blas, and E. J. Abril, "Robust indoor positioning provided by real-time RSSI values in unmodified WLAN networks," *IEEE J. Sel. Topics Signal Process.*, vol.3, no.5, pp.821-831, 2009. DOI: 10.1109/JSTSP.2009.2029191
- [8] Eun. Tai Kim, Chang. Woo Park, Young. Seog Kim, Sung.Wook Baik, Seung.Bin Moon, "Vision Based Localization Methods for Indoor Robots," *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol.26, no.4, pp.12-21, 2008. DOI: 10.1109/EIT.2015.7293353
- [9] Back. doo. Zho, Sung. oh. Kwon, Seong. eun. Cheon "Indoor Positioning System Using Ultrasonic and RF," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.42 No.2, 2017. DOI: 10.7840/kics.2017.42.2.413
- [10] C. Lee, Y. Chang, G. Park, J. Ryu, S. Jeong, S. Park, J. Park, H. Lee, K. Hong, and M. Lee, "Indoor positioning system based on incident angles of infrared emitters," *IECON30th Annu. Conf. IEEE*, vol.3, pp.2218-2222, 2004. DOI: 10.1109/IECON.2004.1432143
- [11] Hyoung. Rae Kim, Xue. Nan Cui, Jae. Hong Lee, Seung. Jun Lee, Hak. il Kim, "Person-following of a Mobile Robot using a Complementary Tracker with a Camera-laser Scanner", *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol.20, No.1, pp.78-86, 2014. DOI: 10.5302/J.ICROS.2014.13.1954
- [12] A. Yilmaz, O. Javed, and M. Shah, "Object tracking: a survey," *ACM Computing Surveys*, vol.38, no.4, 2006.
- [13] Gi. Doo Kim, Seo. Yeon Won and Hie. Sik Kim "An Object Recognition Performance Improvement of Automatic Door using Ultrasonic Sensor," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol.54, NO.3, 2017. DOI: 10.5573/ieie.2017.54.3.97
- [14] Hun Choi, Si-Woong Jang, "Front and Rear Vehicle Monitoring System using Ultrasonic Sensor," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.16, No.06, pp. 1125-1132, 2012. DOI: 10.6109/jkiice.2012.16.6.1125
- [15] Ashish. Pandharipande, David. Caicedo, "User localization using ultrasonic presence sensing systems," *Systems, Man and Cybernetics, IEEE International Conference on*, 2012. DOI: 10.1109/ICSMC.2012.6378282
- [16] Junh. yuk. Sim, Jae. dong. Kim, Seok. hun. Yoon, Young. Eun. Song, Hyeong. jun. Chang, Hoe. ryong. Jung, "Wire-actuated Position Sensor for Object Following Control of Mobile Robot," *Journal of Institute of Control*, Vol.24, No.10, pp.947-953, 2018. DOI: 10.5302/J.ICROS.2018.18.0093
- [17] Jong. Ho. Han, Sook. hee. Park, Dong. Hyuk. Lee, Kyung. wook. Noh2, Jang, myung, Lee. A "Mobile Robot Estimating the Real-time Moving Sound Sources by using the Curvature Trajectory," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol.20. no.1 pp.48-57, 2014. DOI: 10.5302/J.ICROS.2014.13.1910
- [18] Hyun. Kin. Lee, "Changes in Ward Environment after MERS," *Review of Architecture and Building Science*, 2016.
- [19] Jae. June. Yoo, Young. Soo. Cho, "Trends in Technical Development and Standardization of Indoor Location Based Services," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.29, no.5, pp.51-61, 2014.
- [20] Sang. Woo. Lee, Sun. Woo. Lee, "Technology Trends and Prospects for Interior Positioning," *Korea Institute Of Communication Sciences*, Vol.32, no.5, pp.81-85, 2015.
- [21] Tae. Yun. Jung, Eui. Rim. Jeong, "Recurrent Neural Network Based Distance Estimation for Indoor Localization in UWB Systems," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication*

Engineering, Vol.24, No.4, pp.494-500, 2020.

[22] Byoung. su Lee, Seung. woo Kim, "A Study on Self-Localization of Home Wellness Robot Using Collaboration of Trilateration and Triangulation," *Journal of IKEEE*, Vol.18, No.1, pp.057-063, 2014. DOI: 10.7471/ikeee.2014.18.1.057

[23] Yun, Su. H, Duck. Gon. Kim "Environmental Perception Considering Beam Opening Angle and Specular Reflection of Ultrasonic Sensors," *Journal of Advanced Marine Engineering and Technology*, Vol.30, No.8, pp.919-926 2006.

[24] R. Oten and R. J. P. de Figueiredo, "Adaptive Alpha-Trimmed Mean Filters under Deviations From Assumed Noise Model," *Journal of IEEE Transactions on Image Processing*, vol.13, no.5, pp.844-855, 2004. DOI: 10.1109/TIP.2003.821115

[25] Xu. Long and Nam, Ho, Kim "An Improved Weighted Filter for AWGN Removal," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, vol.17, no.5, pp.1,227-1,232, 2013. DOI: 10.6109/jkiice.2013.17.5.1227

[26] M. Juneja and P. S. Sandhu, "Design and Development of an Improved Adaptive Median Filtering Method for Impulse Noise detection," *IEEE International journal of Computer and Electrical Engineering*, vol.1, pp.627-630. 2009. DOI: 10.7763/IJCEE.2009.V1.98

[27] Jiahui Wang and Jingxing Hong, "A New Self-Adaptive Weighted Filter for Removing Noise in Infrared images," *IEEE Information Engineering and Computer Science*, ICIECS International Conference, 2009. DOI: 10.1109/ICIECS.2009.5367160

[28] Jong, Ho, Han1, Sook, hee, Park, Dong, Hyuk, Lee, Kyungwook, Noh, Jangmyung Lee, "A Mobile Robot Estimating the Real-time Moving Sound Sources by using the Curvature Trajectory," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol.20, No.1, 2014. DOI: 10.5302/J.ICROS.2014.13.1910

BIOGRAPHY

Seung-Ho Yum (Member)



2019 : BS degree in Electrical Engineering, Korea Polytechnic University
2020~current : MS degree in Advanced Technology Fusion, Korea Polytechnic University
2020~ : MS degree in Korea Polytechnic University

Su-Hong Eom (Member)



2011 : MS degree in Information and Communications Engineering, Korea Polytechnic University
2017 : Ph.D degree in Information and Communications Engineering, Korea Polytechnic University

2017~current : Research Professor, Dept. of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University

Eung-Hyuck Lee (Member)



1997 : Ph.D degree in Information and Communications Engineering, Inha University
2000~current : Professor, Dept. of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University