

HRP UWB 통신의 채널 특성 변화를 이용한 실내 사람 수 파악

Identification of the Number of Indoor People Using the Change in Channel Characteristics of HRP UWB Communication

한수민 · 차형호 · 윤민경 · 장병준

Sumin Han · Hyeong-Ho Cha · Minkyung Yoon · Byung-Jun Jang

요 약

HRP UWB 기술은 통신뿐만 아니라, 정밀한 거리 측정이 가능하다는 장점으로 인해 최근 관심이 집중되고 있다. 이제 통신과 거리측정 기능을 넘어 주변 상황을 인지할 수 있는 수동 레이더 응용까지도 고려되고 있다. 이러한 레이더 응용 중에서 실내의 사람 수를 파악하는 기능은 사회적 거리두기가 중요한 현 시점에서 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 HRP UWB 통신기기 간의 채널 특성 변화를 이용하여 실내 환경에서 사람 수를 파악하는 HRP UWB 수동 레이더 응용 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템을 통해 채널5와 채널9의 채널임펄스응답(CIR)의 특성의 변화를 관찰하였고, 특이점 분해(SVD) 알고리즘을 통해 사람의 수를 파악하도록 하였다. 실제 측정 결과, 실내 환경에서 HRP UWB 무선통신 기기 한 쌍을 이용하여 실내 공간에서 움직이는 5명 이내의 사람을 정확히 파악할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

HRP UWB technology has recently attracted attention owing to its advantages of enabling precise distance measurements as well as communication. In addition to communication and distance measurement, passive radar applications that can recognize the surrounding situation are also being considered. Among these radar applications, the ability to detect the number of people indoors is of increasing interest when social distancing is important. In this study, we implemented an HRP UWB passive radar application system that detects the number of people in an indoor environment using the change in channel characteristics between HRP UWB communication devices. Using the implemented system, changes in the channel impulse response (CIR) characteristics of channels 5 and 9 were observed, and the number of people was identified using the singular vector decomposition (SVD) algorithm. From actual measurements, it was possible to confirm that the number of people within five people in an indoor environment could be accurately identified using a pair of HRP UWB wireless communication devices in an indoor environment.

Key words: UWB, HRP, Channel Impulse Response (CIR), People Counting, Social Distancing, UWB Radar

I. 서 론

20년 전 등장한 UWB(ultra wide-band) 무선통신기술이 무선통신을 넘어 UWB 기기 간의 정밀한 거리 측정이 가

「이 연구는 2018년도 삼성전자 미래기술육성센터 연구비(SRFC-IT1801-51)의 지원으로 연구되었음.」

국민대학교 전자공학부(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received September 15, 2022 ; Revised September 28, 2022 ; Accepted October 20, 2022. (ID No. 20220915-072)

· Corresponding Author: Byung-Jun Jang (e-mail: bjjang@kookmin.ac.kr)

능하다는 특징이 재조명되면서 다양한 분야에서 대중화되고 있다. 현재 상용화된 UWB 기술은 20년 전 처음 도입되었던 UWB 기술과는 원리가 다른 HRP(high-rate pulse repetition frequency) UWB 기술로서, 2015년 IEEE 802.15.4-2015로 표준화된 기술이다. 최근에는 자동차 분야의 스마트키 응용이 중요시되면서 암호화 기능이 추가되어 IEEE 802.15.4z-2020으로 표준이 완성되었다. 현재 HRP UWB 기술을 이용한 IC는 Qorvo와 NXP 등이 생산하고 있고, 각각 애플과 삼성의 스마트폰에 장착되면서 응용분야가 점차적으로 확대되고 있다. 예를 들어 현대자동차는 자동차 스마트키 응용으로 UWB 기능을 내장하고 있다. 이런 추세에 따라 앞으로는 더욱 다양한 분야에서 HRP UWB 기술의 보급이 확대될 예정이다^{[1]-[3]}.

이렇게 HRP UWB 기술의 보급이 확대되면서 UWB 기기가 설치된 주변 상황을 인지할 수 있는 수동 레이더(passive radar) 응용이 등장하고 있다. UWB 수동 레이더는 기존 UWB 레이더와는 그 원리가 다르다. 기존 UWB 레이더는 UWB 레이더 내부와 송신기와 수신기가 있으며, 송신기가 광대역 UWB 신호를 방사하고 이 송신신호와 목표물에 맞고 역산란된 신호와의 시간차를 이용하여 거리를 측정하는 전통적인 펄스 레이더와 유사하다. 반면에 UWB 수동 레이더는 거리가 이격된 UWB 송신기와 UWB 수신기 사이에 정보를 무선으로 주고받을 때 채널 상태를 알려주는 채널 임펄스 응답(channel impulse response: CIR)을 이용하여 채널 환경을 예측함으로써 레이더 기능을 간접적으로 수행하는 방식이다. UWB 레이더는 출력이 낮으므로 센싱 반경이 매우 짧은 데 반해 UWB 수동 레이더는 통신기능을 이용하므로 센싱 반경이 넓다는 장점이 있다^[4]. 최근 이러한 UWB 수동레이더의 장점을 이용하여 다양한 분야에서 적용이 활발하게 일어나고 있다. 예를 들어 자동차 내부에 장착된 UWB 기기를 이용하여 차문, 창문, 트렁크의 개폐 여부나 사람이 특정 좌석에 앉아 있는지 여부를 파악하는 수준까지 도달하고 있다^[5].

이러한 UWB 수동 레이더 응용 중에서 현재 관심을 받고 있는 응용 중에 하나가 실내 공간에서 사람의 수를 파악하는 응용에 대한 연구가 있다^[6]. 실내에서 사람의 수를 파악하는 것은 최근 COVID-19로 인해 사회적 거리두

기가 시행될 때 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 코로나 확산을 막기 위해서는 사람들 간의 거리를 2 m 이상 유지하고, 실내에 최대 수용인원에 제한을 두게 된다. 따라서 기술적으로 실내에 사람의 수를 실시간으로 파악하여 사람의 수가 허용 인원을 초과하면 경고하는 시스템이 필요하다. 보통 실내에서 사람의 수를 파악하기 위해서는 영상기술이나 고전적인 레이더 기술을 주로 사용하였다. 하지만 영상기술은 카메라 설치 및 영상처리를 위한 서버가 필요할 뿐만 아니라, 빛에 민감하고 개인 정보 보호 등의 문제가 발생할 소지가 있다. 반면, 레이더 기술은 영상기술의 문제가 되는 조명, 연기 등 주위 환경의 변화에 강하다는 장점이 있다. 하지만 레이더로 사람의 수를 파악하기 위해서는 출력이 높은 고성능의 레이더가 필요하다. 예를 들어 가격이 저렴한 도플러 레이더는 단순히 사람의 움직임 정도만을 파악할 수 있을 뿐이며, 사람의 수까지는 정확히 파악할 수 없다. 방향탐지 기능이 있는 FMCW 레이더와 같은 고성능 레이더를 이용하면 사람의 수를 파악할 수 있으나 이 경우 가격이 고가가 된다^[7].

이에 따라 기존에 실내에 설치된 무선통신 기술을 이용하여 실내 공간에서 사람의 유무와 수를 파악하는 레이더 활용 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 예를 들어 실내에 설치된 Wi-Fi AP(access point)에서 채널 추정을 위해 사용하는 CSI(channel state information) 정보를 이용하는 방법이나 Bluetooth 등을 이용하는 연구가 진행되고 있다. 하지만 Bluetooth, Wi-Fi 등은 대역폭이 좁아 움직이는 사람의 존재는 인식할 수 있으나, 사람의 수를 정확히 인식하는 수준까지는 이르지 못하고 있다^{[7][8]}.

따라서 본 연구에서는 최근 확산되고 있는 HRP UWB 기술을 이용하여 실내에서 사람의 수를 파악하는 시스템을 구현하였다. HRP UWB는 채널 대역폭이 500 MHz이며 거리 측정을 위해 정밀한 채널환경을 채널임펄스응답(CIR)으로 구할 수 있으므로 레이더 응용에 적합하다. 현재까지 HRP UWB 기술을 이용한 연구는 2021년에 최초로 그 개념이 참고문헌 [6]에서 도입된 바 있다. 하지만 참고문헌 [6]에서는 단순히 그 가능성을 확인하는 수준으로, 국내 주파수 할당이 되어 있지 않는 주파수 채널을 사용하고 있을 뿐만 아니라, 데이터 처리 방법 등 구체적인 설명이 부족하다. 이에 본 논문에서는 단순 가능성을 확

인하는 참고문헌 [6]의 수준을 넘어 실제 시스템을 구현하고, 이 때 필요한 다양한 고려사항을 포함하였다. 특히, IEEE 802.15.4z-2020으로 표준을 지원하는 최신 HRP UWB 모듈인 Qorvo사의 DWM3000 HRP UWB 모듈을 이용하였고^[9], 국내 실정에 맞는 주파수 채널을 사용하였다. 제작된 시스템을 이용하여 실험실 환경에서 움직이는 사람의 수에 따른 CIR 특성 변화를 추출하였고, 추출된 CIR 데이터로부터 특이점 분해(singular value decomposition: SVD) 분석을 통해 실내 환경에서 움직이는 사람의 수를 측정하는 시스템을 구현하였다. 본 연구결과는 향후 HRP UWB 기술을 다양한 레이다 응용해 사용할 수 있는 기반이 될 것이라 사료된다.

II. HRP UWB의 채널 특성의 변화

제안된 시스템은 실내에 HRP UWB 기기 간에 신호를 전송할 때 무선채널을 이용하는데, 사람들이 움직일 때 무선채널의 변화가 발생한다는 원리를 이용하는 것이다. 특히, HRP UWB는 Wi-Fi나 Bluetooth에 비해 광대역을 사용하므로 상대적으로 무선채널의 변화를 정확히 파악할 수 있는 장점이 있다.

HRP UWB의 CIR 특성을 이용하여 실내에서 사람의 수를 찾는 이론적 배경은 그림 1과 같다. UWB 송신기와 UWB 수신기가 하나만 있는 가시선 무선환경에서 직접파와 반사파가 하나씩 존재한다고 가정한다. 실내에 사람이 없을 때 UWB 송신기가 이상적인 $\delta(t)$ 신호를 송신하

다고 가정하면 UWB 수신기가 수신하는 신호 $r(t)$ 는 식 (1)과 같이 주어진다.

$$r(t) = \alpha_1 \delta(t - \tau_1) + \alpha_2 \delta(t - \tau_2) \quad (1)$$

여기서 α_1 과 τ_1 은 직접파의 감쇄 정도와 시간지연을 나타내고, α_2 와 τ_2 는 반사파의 감쇄 정도와 시간지연을 나타낸다. 이제 직접파 경로상에 사람이 존재하게 되면 채널 특성이 변화하는데 보통 크기의 감소가 발생한다. 이제 사람이 움직이면 사람이 움직임에 따라 UWB 수신신호에서 직접파의 크기가 변화하게 된다. 실제 실내에서 사람의 위치는 다양한 위치에 존재할 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 반사파가 존재하므로 CIR 특성의 변화는 그림 1 보다는 복잡한 양상을 띠게 된다. 하지만 사람의 수가 증가할수록 CIR의 특성의 변화의 복잡한 정도도 사람의 수에 비례하여 커지게 됨을 예측할 수 있다. 따라서 이러한 CIR 특성 변화를 이용하여 실내 환경에서 사람의 수를 예측하는 것이 가능할 것이다.

그림 1은 이상적인 상황이므로 실제 실내 환경에서 HRP UWB 기기를 이용하여 CIR 변화를 직접 측정하였다. 측정환경의 구축은 그림 2와 같다. 그림 2(a)와 같이 9 m × 10 m 크기의 실내 사무실 공간을 그대로 사용하였고, 그림 2(b)와 같이 UWB 송신기와 UWB 수신기를 4 m 거리를 이격하고, 각각 1 m 높이의 삼각대 위에 고정하였다. 실내 공간은 벽, 책상, 사물함 등의 집기가 배치되어 있으며, 책상에는 컴퓨터와 계측기 등이 사용하는 상태 그대로 놓여 있다. 이러한 사무실 환경에서 UWB 송신기와 UWB 수신기 사이에 존재하는 사람의 수를 1명에서 5명까지 변화시키면서 CIR의 변화를 관찰하였다. 사무실 내 사람들은 책상에 앉아서 사무를 보는 경우와, 사무실 내에서 서서 자연스럽게 대화하면서 천천히 움직이는 경우를 가정하였다. 사용한 HRP UWB 기기는 최신 IEEE 802.15.4z-2020 표준을 지원하는 Qorvo사의 DWS3000 모듈 한 쌍을 사용하였다. DWS3000 모듈은 Nordic사의 nRF-52840 마이컴으로 구동되며 0.5초에 한 번씩 CIR을 추출할 수 있도록 프로그래밍하였다. DWS3000 모듈은 CH5번(중심주파수 6.4896 GHz)과 CH9번(중심주파수 7.9872 GHz)의 2개의 주파수를 지원하며, 국내에서는 CH9번 주파수가 스마트폰 등에서 사용된다. 본 연구에서

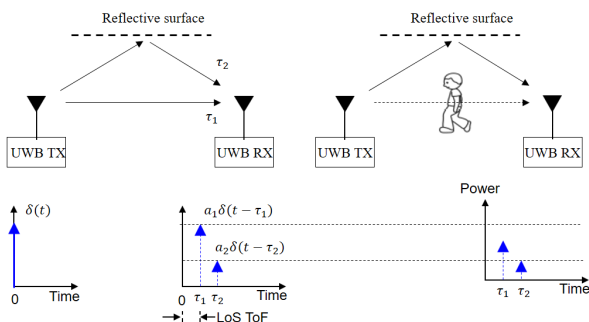
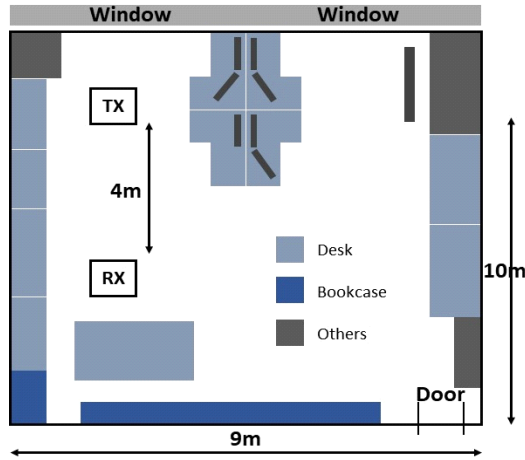


그림 1. 장애물에 의한 UWB의 채널 특성 변화

Fig. 1. Change in UWB channel characteristics due to obstacle.



(a) 측정 환경
(a) Measurement environments



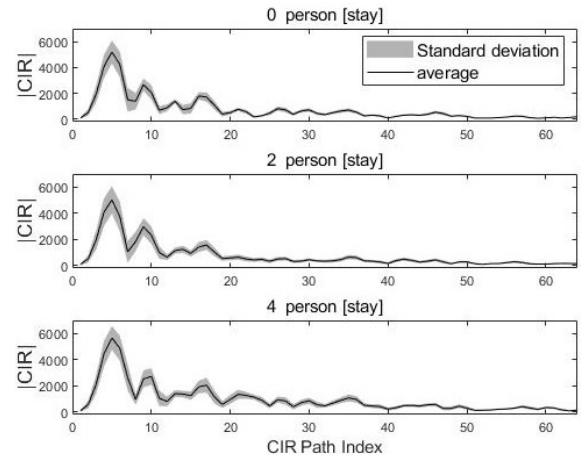
(b) HRP UWB 송신기와 수신기 사진
(b) Photograph of HRP UWB transmitter and receiver

그림 2. HRP UWB CIR 측정 환경 및 사진
Fig. 2. Measurement environments of HRP UWB CIR and its photograph.

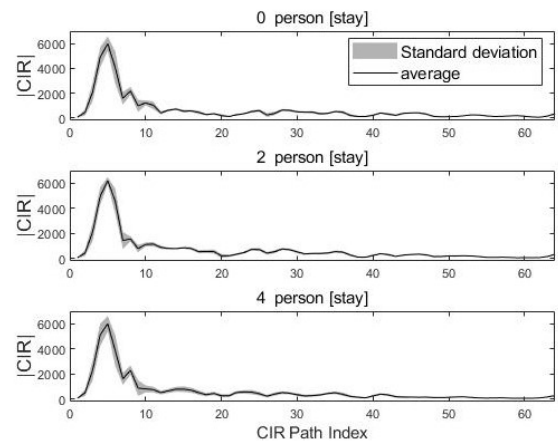
는 연구목적이므로 2개의 주파수 모두에서 CIR을 추출하였다. 이때 HRP UWB IC가 제공하는 CIR 데이터는 임의로 가공하는 데이터이므로 FP_INDEX를 기준으로 데이터의 전처리 과정이 필요하다. 전처리를 위해 데이터를 업샘플링(upsampling)하여 UWB IC에서 제공하는 FP_INDEX 기준으로 64개의 CIR 데이터를 정렬하였다^{[10],[11]}.

이러한 전처리 과정을 거쳐 사무실에 사람이 책상 앞에 앉아서 사무를 보는 경우와 움직이면서 대화하는 경

우를 구분하여 CIR을 측정된 결과가 그림 3과 그림 4에 주어져 있다. UWB 수동 레이다를 사용할 경우, 하나의 CIR이 중요한 것이 아니라 CIR의 통계적인 변화가 중요하므로, 50초 동안 100개의 CIR 데이터를 측정 후 평균과 표준편차를 계산하여 나타내었다. 그림 3은 측정 환경 내에서 사람들이 앉아서 사무를 보는 경우로 그림 3(a)는 CH5번을 사용하는 경우이고, 그림 3(b)는 CH9번을 사용한 결과이다. y축은 CIR magnitude값을 나타내고, x축은



(a) 채널 5의 경우
(a) Channel 5



(b) 채널 9의 경우
(b) Channel 9

그림 3. 앉아있는 사람 수에 따른 UWB 채널 특성 변화
Fig. 3. Changes in UWB CIR characteristics according to the number of people sitting.

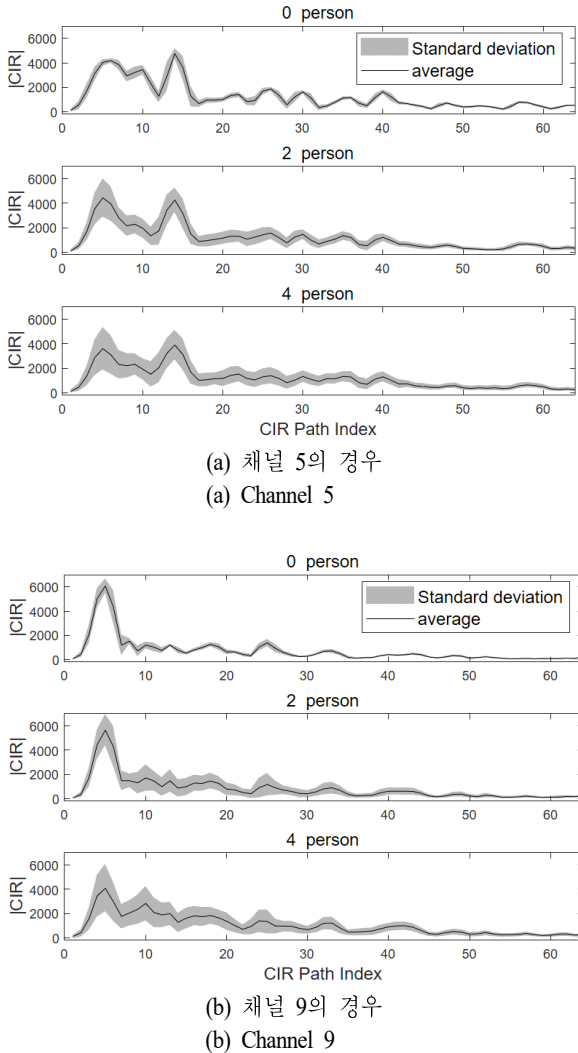


그림 4. 움직이는 사람 수에 따른 UWB 채널 특성 변화
Fig. 4. Change in UWB CIR characteristics according to the number of people in motion.

CIR index를 나타낸다. 두 주파수 모두 사람이 없는 경우에도 CIR은 매 순간 조금씩 움직이게 되는데, 이는 측정 순간마다 HRP UWB 하드웨어에서의 클럭의 미세한 흔들림과 잡음신호의 영향에 의해 발생하는 것으로 보인다. 사람이 존재하게 되면 비록 사람이 가만히 있더라도 호흡에 의한 상체의 미세한 움직임, 컴퓨터 작업 중 손의 움직임, 다리의 교차 등 조금씩 움직임이 존재할 수밖에 없으므로 평균은 변화가 없는 반면에 표준편차가 미세하게

증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 사람이 없는 경우와 비교할 때 눈에 띄는 변화를 찾아보기는 어렵다.

한편, CH5와 CH9에서 CIR의 특성의 차이는 크게 보이는데 CH9가 CH5보다 주파수가 높으므로 직접파의 크기가 반사파의 크기보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 이는 저자들의 이전 연구에서도 확인된 바 있으며, 주파수가 높을수록 반사파의 크기가 직접파의 크기에 비해 상대적으로 작기 때문인 것으로 판단된다^[11].

그림 3과 달리 그림 4는 측정 환경 내에서 사람들이 자리에서 일어서서 움직이는 경우로 그림 4(a)는 CH5변을 사용하는 경우이고, 그림 4(b)는 CH9변을 사용한 결과이다. 두 주파수 모두 사람 수가 증가함에 따라 CIR의 특성의 변화가 커지는 것을 표준편차의 크기가 증가하는 것으로부터 확연히 알 수 있다. 즉, 사람이 없는 경우는 전파 환경의 변화가 없으므로 CIR의 변화가 거의 없는 데 반하여, 사람의 수가 증가함에 따라 평균은 변하지 않지만 CIR의 변화인 표준편차의 정도가 커지게 된다. 사람이 앉아있는 경우에 비해서 사람이 움직일 때 그 움직임의 변화가 크므로 사람의 수의 증가에 따른 표준편차의 변화가 매우 크게 나타난다. 그림에서는 0명, 2명, 4명인 경우만을 표현하였으나, 그 외 숫자(1명, 3명, 5명)의 사람에서도 위와 비슷한 경향을 확인하였다. 동일한 실험 환경에서 CH9변의 경우가 CH5변의 경우보다 주파수가 높아 직접파의 크기가 반사파의 크기보다 큰 점을 제외하고는 표준편차의 변화가 사람의 수에 비례한 것은 동일하다.

III. SVD를 이용한 실내 사람 수 추출 알고리즘

앞 절에서 사람 수에 따라 HRP UWB의 CIR 특성 중 표준편차가 변화됨을 확인하였다. 이러한 표준편차의 변화로부터 사람의 수를 추정하는 다양한 알고리즘이 가능하겠지만, 본 연구에서는 UWB 기기를 이용하여 사람 수를 파악하는 데 처음으로 사용된 방법인 일련의 CIR 데이터를 행렬로 만든 후 행렬을 특이점 분해(singular value decomposition: SVD)하는 알고리즘을 적용하였다^[6].

CIR 데이터를 행렬로 만든 후 행렬을 특이점 분해하는 알고리즘은 다음과 같다. HRP UWB 수신기는 IQ 복조기 구조를 가지므로 CIR은 복소수로 주어진다. 특정시간 k

에서 CIR의 복소수의 크기를 갖는 벡터를 \vec{a}_k 라 하자. 실제 HRP UWB에서 제공하는 CIR 중 의미있는 값은 FP_INDEX 주변의 값이므로 FP_INDEX 이전 2개의 인덱스로 시작하여 64개의 데이터만을 이용한다고 하자. 이제 0.5초에 한 번씩 50초 동안 100개의 CIR을 측정하여 일련의 CIR 데이터를 구하고, 이 일련의 CIR 벡터를 행렬로 표현하면 식 (2)와 같이 주어진다.

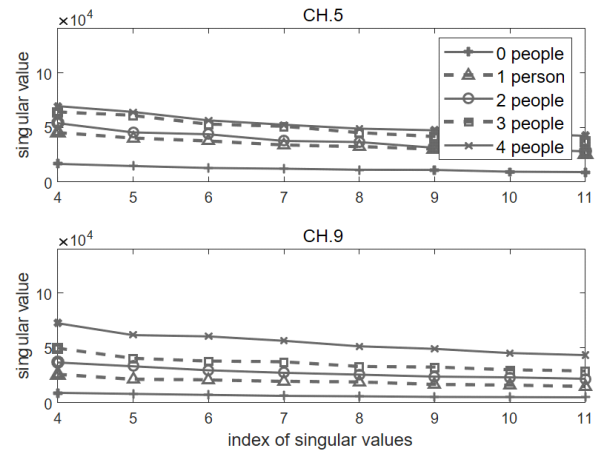
$$A = [\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_{100}] \quad (2)$$

따라서 식 (2)의 행렬의 크기는 $[64 \times 100]$ 행렬이 된다. 행렬 A로부터 CIR의 벡터의 크기의 차를 모두 구하여 행렬 D를 구할 수 있다. 행렬 A의 열의 크기가 W일 때 행렬 D의 행의 크기 $W(W-1)/2$ 가 되므로 행렬 D의 크기는 $[4,950 \times 64]$ 가 된다. 이제 행렬 D를 특이값 분해(singular value decomposition)하면 식 (3)과 같다.

$$D = U \Sigma V^T \quad (3)$$

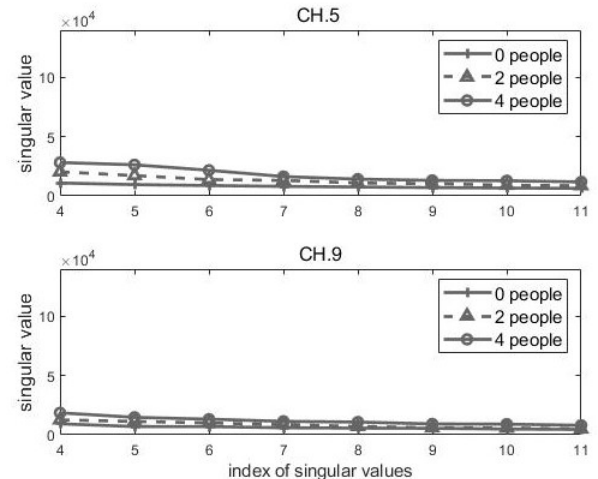
여기서 행렬 U의 열은 DD^T 의 고유벡터(eigenvector), 행렬 V의 열은 $D^T D$ 의 고유벡터(eigenvector), 그리고 행렬 Σ 는 의사대각행렬이 된다. 또한 행렬 Σ 의 대각선에 위치한 특이값 $s_n, n=1, 2, \dots, r$ 은 DD^T 와 $D^T D$ 의 고유값(eigenvalue)의 제곱근으로 주어진다. 이렇게 구한 특이값은 큰 값부터 시작하여 작아지는 형태를 갖게 되는데 이러한 특이값은 행렬 D의 변화 특성과 연계된다.

식 (3)으로부터 구한 특이값 결과는 그림 5와 같다. 그림 5의 가로축은 특이값 행렬의 대각선 인덱스로 3 이하의 인덱스는 너무 큰 값, 12 이하의 인덱스는 작은 값으로 수렴하므로 4에서 11번의 인덱스만을 나타내었다. 그림에서 세로축은 각각의 인덱스에서의 특이값의 크기를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 사람의 수가 증가함에 따라 눈으로 확인할 수 있을 정도로 차이를 보임을 확인할 수 있었다. 사람의 수가 6명 이상인 경우는 UWB 기기 내에 자유롭게 움직일 공간이 부족하여 실험은 생략하였고, 5명까지는 그림 3(a)와 같이 특이값의 변화가 분명히 차이가 있음을 확인하였다. 또한, 그림 3(b)에서 확인할 수 있듯이 송수신기 사이의 사람들이 움직이지 않더라도 사람의 수가 증가함에 따라 특이값의 차이가 있음을 확인하였다. 그림 4에서 알 수 있듯이 눈에 보이는 CIR의 표



(a) 움직이는 경우 CIR의 특이값

(a) Singular value os CIR (moving)



(b) 정지상태 CIR의 특이값

(b) Singular value os CIR (sitting)

그림 5. 주파수와 사람 수에 따른 특이값의 변화

Fig. 5. Change of singular value with frequency and number of people.

준편차의 변화가 거의 없는 것에 반해, 특이값을 도출해 내면 구분이 가능하다는 것을 알 수 있다.

일반적으로 사람이 모두 움직이는 경우는 없고, 몇 명은 앉아 있고 몇 명은 서 있는 경우가 많으므로, 이러한 실험환경에서의 결과를 확인하기 위해서 측정 환경 내에 3명이 있을 때 움직이는 인원 수를 바꿔가면서 실험해 보았다. 앞의 실험과 동일하게 움직이는 사람은 조금씩 결

으면서 움직이는 경우를 가정하여 실험하였으며, 그 결과는 그림 6과 같다. 그림 6은 사람이 없는 경우와 2명, 4명이 앉아 있는 경우와 3명 중 1명씩 움직이는 사람이 늘어날 경우를 비교하여 나타내었다.

그림 6에서 보는 바와 같이 모든 사람이 정지상태일 때에는 미세한 움직임이 특이값에 반영되기 때문에 아무도 없는 상황과의 구별은 가능하지만, 몇 명이 존재하는지는 명확하게 파악하기 힘들다. 하지만 3명 중 1명만 움직이더라도 모든 인원이 앉아 있는 상태일 때와는 특이값이 큰 차이를 보인다. 즉, 측정 환경 내에 움직이는 사람이 존재하는 상황과 모든 사람이 가만히 있는 상황의 구별이 가능하다. 또한 모든 인원이 움직이지 않더라도, 움직이는 사람의 수에 따라서 특이값이 높아지는 것을 확인할 수 있다.

그림 5와 그림 6에서 구한 singular value를 $y(x)$ 라 정의하고, 이를 이산화한 $y_n = y(x_n)$ 을 이산데이터(discrete data)로 정의하고 $x_n = \{x_1, x_2, \dots, x_r\}$ 의 범위를 가지고 있다고 생각해 보자. Singular value의 특징을 나타낼 수 있는 방법은 다양하게 존재한다. 예를 들어 $y(x)$ 의 평균기울기, 적분값, 중심값, 기울기 등의 특징을 사용할 수 있다. 본 논문에서는 이 중에서 $y(x)$ 의 적분값과 $y(x)$ 의 x_{4-11} 기울기를 사용하였다. 먼저, $y(x)$ 의 적분값의 계산

식은 식 (4)와 같다.

$$f_a = \sum_{i=1}^{r-1} y_i \cdot (x_{i+1} - x_i) \quad (4)$$

다음으로 $y(x)$ 의 x_{4-11} 기울기 계산식은 식 (5)와 같다.

$$f_s^{4,11} = \frac{y_4 - y_{11}}{x_4 - x_{11}} \quad (5)$$

식 (4) 및 식 (5)를 활용하면 그림 7과 같이 feature map을 그릴 수 있다. 그림 7의 경우는 그림 5(a)에 대해서 표현했다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 사람의 수와 사람들의 움직임에 따라 확연히 다른 분포도를 관찰할 수 있다. 이에 따라 특이값 데이터로부터 사람 수, 움직이는 상태를 거꾸로 추정할 수 있을 것이며, 다양한 알고리즘과 식을 적용하면 더욱더 정확한 판별이 가능할 것으로 보인다. 더불어 특이점 분해 방법 이외에 다양한 신호처리 방법도 가능할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 UWB 기기를 이용한 수동 레이더 응용의 하나로서, 실내에 존재하는 사람의 수를 파악하는 기능을 구현하였다. 구현한 시스템을 이용해 실제 측정 결과, 실내 환경에서 HRP UWB 무선통신기기 한 쌍으로부터 실내 공간에서 5명 내외의 사람의 수를 정확히 파악할 수 있음을 확인하였다. 본 연구를 통해 UWB 통신기기를 이용하여 다양한 UWB 수동 레이더의 응용이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구를 바탕으로 향후 다양

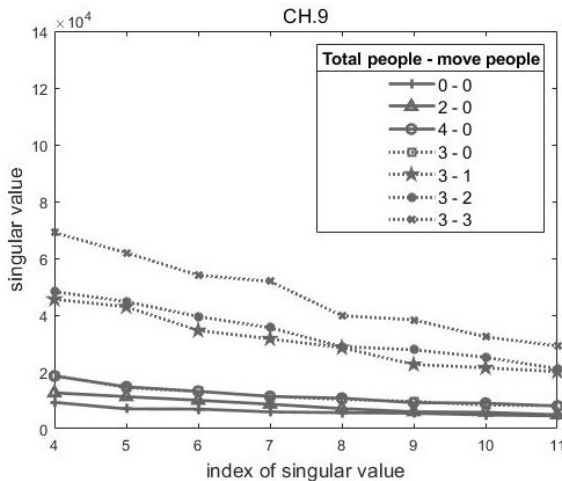


그림 6. 주파수와 움직이는 사람 수에 따른 특이값의 변화
Fig. 6. Change of singular value with frequency and number of movement people.

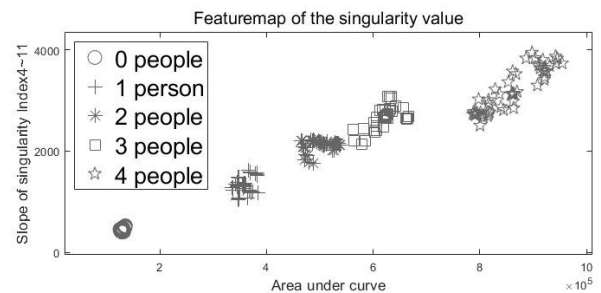


그림 7. 특이값의 2차원 특성지도
Fig. 7. 2-Dimension featuremap of singular value.

한 연구를 통해 UWB 수동레이다 연구가 활성화되기를 기대한다.

References

- [1] B. J. Jang, "Principle and trends of UWB positioning technology," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 33, no. 1, pp. 1-11, Jan. 2022.
- [2] *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks*, IEEE Std 802.15.4-2015, Apr. 2016.
- [3] P. Sedlacek, M. Slanina, and P. Masek, "An overview of the IEEE 802.15.4z standard its comparison and to the existing UWB standards," in *2019 29th International Conference Radioelektronika(RADIOELEKTRONIKA)*, Pardubice, Apr. 2019, pp. 1-6.
- [4] A. Moschevikin, E. Tsvetkov, A. Alekseev, and A. Sikora, "Investigations on passive channel impulse response of ultra wide band signals for monitoring and safety applications," in *2016 3rd International Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems(IDAACS-SWS)*, Offenburg, Sep. 2016, pp. 97-104.
- [5] A. Kalyanaraman, Y. Zeng, S. Rakshit, and V. Jain, "Caraokey: Car states sensing via the ultra-wideband keyless infrastructure," in *2020 17th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking(SECON)*, Como, Jun. 2020, pp. 1-9.
- [6] M. De Sanctis, A. Conte, T. Rossi, S. Di Domenico, and E. Cianca, "CIR-based device-free people counting via UWB signals," *Sensors*, vol. 21, no. 9, p. 3296, May 2021.
- [7] J. H. Choi, J. E. Kim, and K. T. Kim, "People counting using IR-UWB radar sensor in a wide area," *IEEE Internet Things Journal*, vol. 8, no. 7, pp. 5806-5821, Apr. 2021.
- [8] M. De Sanctis, E. Cianca, S. Di Domenico, D. Provenziani, G. Bianchi, and M. Ruggieri, "WIBECAM: Device free human activity recognition through WiFi beacon-enabled camera," in *Proceedings of the 2nd Workshop on Physical Analytics(WPA-15)*, Florence, May 2015, pp. 7-12.
- [9] Qorvo, "DW3000: 6.5 & 8.0 GHz ultra-wideband(UWB) module." Available: <https://www.qorvo.com/products/p/DWM3000>
- [10] Decawave, "DW1000 user manual: How to use, configure and program the DW1000 USB transceiver," 2017. Available: <https://www.qorvo.com/products/d/da007967>
- [11] H. H. Cha, M. K. Yoon, and B. J. Jang, "Measurement and analysis of channel impulse response of HRP UWB," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 33, no. 8, pp. 607-617, Aug. 2022.

한 수 민 [국민대학교/학부생]

<https://orcid.org/0000-0002-2074-2867>



2016년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 학부생
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템, 전파응용

차 형 호 [국민대학교/학부생]

<https://orcid.org/0000-0001-6232-0569>



2016년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 학부생
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템, 전파응용

윤 민 경 [국민대학교/학부생]

<https://orcid.org/0000-0002-3331-5223>



2018년 3월~현재: 국민대학교 전자공학
부 학부생

[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시
스템, 전파응용

장 병 준 [국민대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-5295-6050>



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학
사)

1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학
석사)

1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학
박사)

1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)

1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소

2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2013년 9월~2015년 8월: 미래창조과학부 민간전문가(CP)

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템, 전파응용