

434 MHz 마이크로파 이미징을 이용한 실내 객체 탐지

조장문*, 김희중, 한승현, 정장훈, 손성호**
순천향대학교

*answkdwh@sch.ac.kr, **son@sch.ac.kr

Indoor Object Detection Using 434 MHz Microwave Imaging

Jang-Moon Jo, Hee-Jong Gil, Seunghyun Han, Janghoon Jeong, Seong-Ho Son
Soonchunhyang University

요 약

본 논문은 434 MHz 마이크로웨이브 이미징 기법을 활용하여, 실내 환경에서 물체의 위치와 크기를 복원하는 가능성을 검토한다. $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 정사각형 배열에 16 개의 모노폴 안테나를 균일하게 배치하고, Born Approximation 기반의 복원 알고리즘을 적용하였다. 배열 중심 (0, 0) m 와 비중심 (0.5, 0.5) m 위치에 물체를 배치한 결과, 두 경우 모두에서 물체의 위치를 안정적으로 추정할 수 있었으며, 신호 강도 0.5 이상의 영역을 기준으로 측정한 등가 지름은 약 0.26 m 로 나타났다. 이러한 결과는 단순한 배열 구성에서도 마이크로웨이브 이미징 기술이 효과적으로 작동함을 보여주며, 향후 다양한 실내 응용 가능성을 제시한다.

I. 서 론

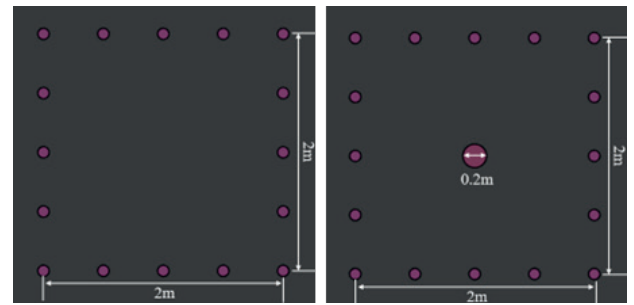
실내 위치 추적 기술은 비전 기반 방식과 RFID(Radio Frequency Identification) 기반 방식 등 다양한 방식이 연구되고 있다 [1]. 비전 기반 방식은 높은 정확도를 제공하지만, 프라이버시 침해에 대한 우려가 있으며, RFID 기반 방식은 위치 추적 대상에 태그를 부착해야 하는 제약이 있고, 태그 간 충돌로 인해 정확도 확보에 한계가 있다 [2]. 이러한 한계를 보완하기 위해, 센서 부착이나 시각 기반 장비 없이도 복잡한 환경에서 안정적인 성능을 제공할 수 있는 마이크로웨이브 이미징 기술이 주목받고 있다. 이 기술은 지구 물리 탐사, 구조물 손상 진단, 지하자원 탐사, 생의학 이미징, 벽 투과 이미징 등 다양한 분야에서 광범위하게 응용되고 있다 [3].

본 논문에서는 마이크로웨이브 이미징 기술을 이용하여 단순한 안테나 배열 구성에서도 물체 복원이 가능한지를 검증하고자 하였다.

II. 방법

본 논문에서는 434 MHz 주파수를 사용하는 모노폴 안테나 16 개를 이용하여 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 크기의 정사각형 배열을 구성하였다. 안테나 간 간격은 약 0.5 m 로 균일하게 배치하였다. 모델링 및 해석은 그림 1 과 같이 전산해석 소프트웨어인 Sim4Life 를 이용하여 수행하였다. 배경 매질은 공기($\epsilon_r = 1$)로 설정하였고, 인체는 평균적으로 약 70%가 수분으로 이루어져 있으며, 특히 마이크로파 대역에서 물은 생체 조직과 유사한 유전 특성을 보인다. 따라서, 물체는 인체의 전자기적 특성을 근사하기 위해 물($\epsilon_r \approx 80$)을 사용하였다. 또한, 물체는 인체를 단순화하여 지름 0.2 m 의 원통형으로 모델링 하였으며, 복원 성능의 위치 의존성을 평가하기 위해, 물체를 배열 중심인 (0, 0) m 와 비중심 위치인 (0.5, 0.5) m 에 각각 배치하였다. 이는 알고리즘의 기본 성능을

검증하기 위한 초기 모델이며, 향후 실제 인체 크기를 반영한 크기로 해석할 계획이다.



(a)

(b)

그림 1. 센싱 데이터 획득을 위한 전산해석 모델: (a) 객체 없을 때 (입사장 해석), (b) 객체 있을 때 (전체장 해석)

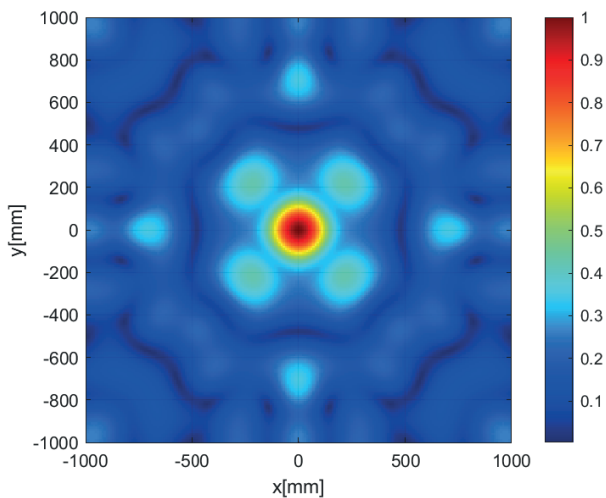
전산해석을 통해 물체가 존재하지 않는 경우 (Incident Field)와 존재하는 경우(Total Field)의 S-파라미터를 각각 추출하였으며, 이들 간의 차이를 통해 산란 S-파라미터를 계산하였다.

복원 알고리즘으로는 Born Approximation 에 기반한 Bifocusing Method (BFM)를 적용하였다. 송신 및 수신 안테나 쌍 간의 2 차원 Green's function 을 계산하고, 이를 측정된 산란 S-파라미터와 내적 연산하여 물체의 위치 및 크기를 복원하였다.

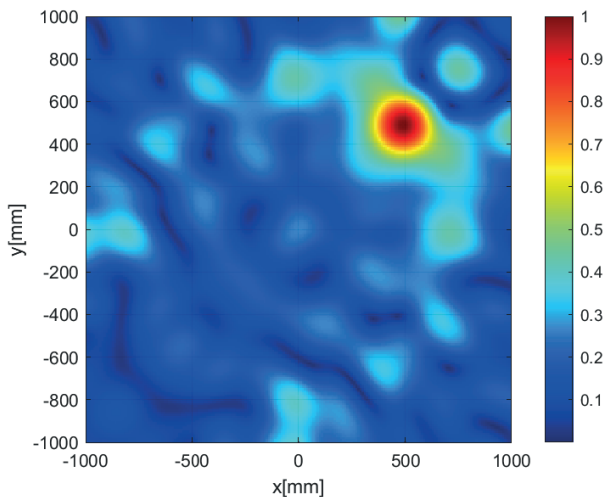
복원 결과는 최댓값을 기준으로 정규화하였으며, 신호 강도가 0.5 이상인 영역을 주요 산란 영역으로 정의하여 물체 크기를 평가하였다. 일반적으로 FWHM(Full Width at Half Maximum)은 신호의 최댓값 절반에 해당하는 지점을 기준으로 폭을 정의하며 [4], 본 연구에서는 이를 참고하여 중심 에너지가 분포된 영역을 정량적으로 해석하기 위한 기준으로 적용하였다.

III. 결 과

그림 2는 각각 배열 중심 (0, 0) m와 비중심 위치 (0.5, 0.5) m에 물체를 배치한 경우의 복원 결과를 나타낸다. (0, 0) m 위치에서는 복원된 이미지에서 물체 위치가 명확히 실별 되었으며, 신호 강도 0.5 이상의 영역을 기준으로 측정한 물체의 등가 지름은 약 0.26 m로 나타났다. 이는 실제 물체 지름인 0.2 m에 비해 과대 복원된 결과이나, 위치 추정과 형상 복원은 안정적으로 이루어졌다. 비중심 위치인 (0.5, 0.5) m의 경우에도 복원된 이미지에서 물체 존재를 명확히 확인할 수 있었으며, 중심 위치에서의 복원 결과와 유사한 수준의 위치 추정 정확도를 보였다. 이는 배열 중심에서 벗어난 조건에서도 제안한 복원 기법이 안정적으로 작동함을 시사한다.



(a)



(b)

그림 2. 실내 객체 탐지 이미징 결과: (a) (0, 0) m 위치,
(b) (0.5, 0.5) m 위치

IV. 결 론

본 연구에서는 2 m × 2 m 배열에 16 개의 모노폴 안테나를 균일하게 배치하고, 434 MHz 주파수를 이용하여 마이크로웨이브 타겟 복원을 수행하였다. 배열 중심 (0, 0) m와 비중심 위치 (0.5, 0.5) m에 물체를

배치하여 복원 성능을 비교한 결과, 두 경우 모두에서 물체의 존재와 위치를 안정적으로 추정할 수 있음을 확인하였다. 특히, 신호 강도 0.5 이상의 등가 지름은 약 0.26 m로 나타났으며, 이는 실제 물체 지름인 0.2m에 비해 과대 복원된 결과이다. 그림에도 불구하고, 전체적인 위치 복원 정확도는 양호하였다.

이러한 결과는 제안한 복원 기법이 단순한 안테나 배열 구성에서도 효과적으로 작동함을 시사하며, 향후 다양한 실내 환경 및 조건에서의 응용 가능성을 보여준다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 학석사연계 ICT 핵심인재양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2025-RS-2024-00436500)

참 고 문 헌

- [1] K. Chawla, G. Robins and L. Zhang, "Object localization using RFID," *IEEE 5th International Symposium on Wireless Pervasive Computing 2010*, Modena, Italy, 2010, pp. 301-306
- [2] P. Yang, W. Wu, M. Moniri and C. C. Chibelushi, "Efficient Object Localization Using Sparsely Distributed Passive RFID Tags," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 12, pp. 5914-5924, Dec.2013
- [3] S. Kang, W.-K. Park and S.-H. Son, "A qualitative analysis of bifocusing method for a real-time anomaly detection in microwave imaging," *Computers and Mathematics with Applications*, vol. 137, pp. 93-101, 2023.
- [4] Markevich and I. Gertner, "Comparison among methods for calculating FWHM," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, vol. 283, no. 1, pp. 72-77, 1989.