

다중 레이더 기반의 실내 지능형 휴먼 감시 기법 연구

현유진*, 진영석

DGIST, ICT연구본부, 미래모빌리티연구부, 지능형 센서 시스템 및 신호처리 연구실

braham@dgist.ac.kr*, ysjin@dgist.ac.kr

A Study on Intelligent Indoor Human Monitoring Based on Multiple Radar Sensors

Eugin Hyun*, YoungSeok Jin

DGIST, Dep. of Future Mobility, IS³ Lab.

요약

본 논문은 실내 환경에서 사생활을 보호하면서 거주자의 상태를 정밀하게 파악하기 위해 다중 대역을 결합한 다중 레이더 시스템을 제안하였다. MVDR 알고리즘을 통해 정지 상태에서의 고정밀 생체 신호를 추출하고, 마이크로 도플러 및 FMCW 궤적 추적 기법을 활용하여 보행 패턴 분석과 다수 인원 계측을 수행하였다. 또한, 심층 학습 기반의 객체 분류와 비지도 학습 기반의 환경 적응형 영역 설정 알고리즘을 통해 시스템의 실용성을 검증하였다. 제안된 기법은 향후 스마트 홈 및 비대면 돌봄 서비스 분야에서 핵심적인 기술로 활용될 수 있다.

I. 서론

스마트 홈 및 실버 케어 산업의 확산에 따라 실내 거주자의 상태를 실시간으로 파악하는 기술의 중요성이 증대되고 있다. 기존 시각 센서 기반 기술은 개인 사생활 보호 및 야간 환경에서의 성능 저하라는 근본적인 한계를 지닌다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 투과 특성이 우수한 5.8 GHz 대역과 정밀 해상도를 갖는 24 GHz 대역을 결합한 지능형 레이더 센싱 시스템을 제안한다. 본 시스템은 비접촉 방식으로 거주자의 위치, 이동 궤적 및 미세 생체 신호를 동시에 분석할 수 있는 장점을 가진다.

II. 본론

제안하는 시스템은 이중 레이더의 특성을 상호 보완적으로 활용한다. 먼저, 실내 고정 클러터가 존재하는 환경에서 호흡과 같은 미세 변위를 정확히 검출하기 위해 공간 필터링 기법인 MVDR 알고리즘을 적용하여 신호 품질을 극대화하였다. 이는 거주자가 정지 상태일 때도 높은 신뢰도의 생체 정보를 추출할 수 있게 한다.

동적 상태 분석을 위해서는 마이크로 도플러 기반의 시계열 스펙트로그램을 생성하여 개인별 보행 특성을 추출하였다. 특히 보행 시 발생하는 사지의 위상 변화를 분석하여 보행 주기를 도출함으로써 행동 패턴 인식의 정확도를 높였다. 또한, FMCW 레이더의 거리 분해능을 활용하여 복도와 같은 협소 공간 내 다수 인원의 이동을 개별 궤적으로 분리하고, 이를 통해 실시간 유동 인원을 계측하는 알고리즘을 구현하였다.

출입 보안 기능을 위해 속도 벡터의 방향성 기반 입출력 판별 기술을 적용하였으며, 수집된 도플러 스펙트럼 데이터를 심층 학습 모델에 입력하여 인간과 가전 로봇 등 비휴먼 객체를 식별하는 분류기를 구축하였다. 마지막으로, 설치 환경에 최적화된 감시 영역을 스스로 설정하기 위해 환경 내 고정 반사체를 학습하고 유효 영역을 자동 정의하는 비지도 학습 기반의 환경 적응형 알고리즘을 제안하였다.

III. 결론

본 논문에서는 다중 대역 레이더 센서를 융합하여 실내 환경에 최적화된 지능형 모니터링 체계를 제안하였다. 제안된 기법은 사생활 침해 없이 정밀

한 생체 정보 및 이동 경로 추적이 가능함을 확인하였으며, 향후 독거 노인 케어 및 스마트 빌딩 관리를 위한 핵심 기술로 활용될 것으로 기대된다.

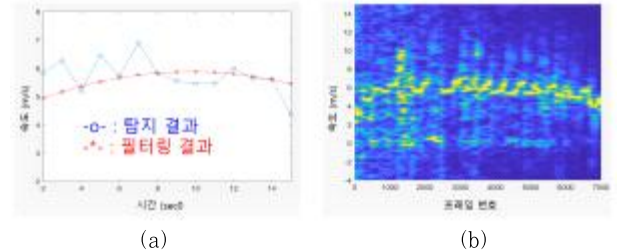


그림 1. 이동 휴먼 탐지 결과: (a) 탐지 속도, (b) 마이크로 도플러

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 과학기술정보통신부에서 지원하는 DGIST 기본사업(“미래 모빌리티 환경인지 및 안전성 향상 기술 연구”, 26-IT-01) 및 정보통신기획평가원의 지원을 받은 과제(과제번호: 2019-0-00138/과제명: 스마트 환경 구축을 위한 지능형 레이더 플랫폼 기술 개발) 재원을 지원을 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] M. Kim, E. Hyun, and I. Choi, "Biomechanical Parameters Estimation for Real-Time Gait Analysis Using a Compact Radar Sensor," IEEE Sensors Journal, vol. 25, no. 4, pp. 6620–6633, Feb. 2025.
- [2] B. Kim, Y. Jin, J. Bae, and E. Hyun, "Two-Step Adaptive Target Detection Scheme Using Beam-Steering FMCW Radar Sensors," JEES, vol. 24, no. 6, pp. 674–676, Nov. 2024