

Wi-Fi CSI 기반 영유아 자세 탐지 및 모니터링 시스템

이찬희, 육소연,이용재,안은영,김태훈[§],방인규[■]

국립한밭대학교 지능미디어공학과, [§]국립한밭대학교 컴퓨터공학과

{20241112, 20241104, yjlee}@edu.hanbat.ac.kr, {aey, thkim, ikbang}@hanbat.ac.kr

A Wi-Fi CSI-Based System for Infant Posture Detection and Monitoring

Chanhui Lee, Soyeon Yuk, Yongjae Lee, Eunyoung Ahn, Taehoon Kim[§], Inkyu Bang[■]

Dept. of Intelligence Media Engineering, Hanbat National University,

[§]Dept. of Computer Engineering, Hanbat National University

요약

본 논문에서는 Wi-Fi 기반의 무선랜(WLAN: Wireless Local Area Network) 환경에서 채널상태 정보(CSI: Channel State Information)를 활용하여 영유아의 수면 자세를 모니터링할 수 있는 심층학습(deep learning) 응용 방안에 대해서 논의한다. 제안 기법은 영유아 수면에 방해가 될 수 있는 접촉식 센서의 단점을 극복하기 위해 무선 신호를 활용하고 상황에 따른 무선 신호의 변화를 학습하여 영유아의 수면 자세를 분류한다. 제안 기법은 영유아 수면 중 발생하는 돌연사의 위험을 사전에 감지하여 영유아의 안전을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

I. 서론

영아 돌연사 증후군(sudden infant death syndrome, SIDS)은 만 1세 이하의 영아가 예상치 못하게 갑자기 사망하는 현상으로, 대부분 명확한 이유 없이 수면 중에 발생한다[1]. 2021년 통계에 따르면 전 세계에서 총 30,608명의 영아가 SIDS로 사망했으며 이는 연평균 출생아 100,000명당 24.16명에 해당하는 수치이다[2]. 이처럼 전 세계적으로 영아 사망의 주요 원인 중 하나인 영아 돌연사는 예고 없이 발생하기 때문에 보호자들에게 많은 우려를 불러일으키고 있다.

SIDS의 원인은 정확하게 밝혀지지 않았으나 다수의 선행 연구는 영아의 엎드려 누운 수면 자세를 주 위험 요인 중 하나로 지목하고 있다. 이에 따라 영아 돌연사를 사전에 방지하기 위해서는 영아의 수면 자세를 지속적으로 모니터링하고 위험 자세를 실시간으로 감지할 수 있는 기술이 필요하다. 기존의 수면 자세 감지 연구 중 영유아의 신체에 직접 센서를 부착하는 방식은 영유아 수면 환경에 방해가 될 수 있다는 한계가 존재한다.

본 연구에서는 수면중 영아 돌연사 문제를 해결하고자 WLAN 기반의 영유아 자세 탐지 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 수면 자세별 CSI 데이터를 수집하고 이를 CNN(Convolutional Neural Network) 모델로 학습한다. 이를 통해 영아의 자세분류 모델을 구축하고 무선 통신을 활용한 비접촉 방식의 자세 감지 시스템 개발 가능성을 제시하고자 한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 AP (Access Point)와 SDR (Software Defined Radio) 장비로 구성된 시스템 모델을 고려한다. AP에서 주기적으로 비콘 프레임을 전송하고 SDR 장비에서 이를 수신한다. 각 상황에서 발생하는 무선 채널의 변화를 CSI 값을 이용하여 측정하고 해당 데이터를 저장한다.

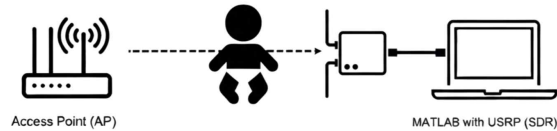


그림 1. AP와 SDR 장비로 구성된 시스템 모델

시스템 구성을 위해 사용한 장비는 다음의 표1과 같다. SDR 장비는 USRP B210을 사용하고 AP는 IEEE 802.11ax를 지원하는 무선랜을 사용하였다.

표 1. 하드웨어 구성

SDR	USRP B210
AP	ipTIME AX3004BCM (IEEE 802.11ax)

CNN 학습을 위한 데이터 수집을 위해 본 연구에서는 신생아와 유사한 아기인형을 활용하여 실험을 진행한다. 아기인형의 자세에 따른 CSI 데이터의 패턴을 학습하기 위하여 총 18개 계층(컨볼루션 계층, 풀링 계층, 완전 연결 계층)으로 구성된 CNN 모델을 사용한다. 또한 20회 에폭(epoch)으로 전체 데이터셋을 반복 학습한다.

III. 실험 결과

본 실험에서는 AP와 SDR 장비 사이에 장애물 없이 아기인형과 침대만을 배치하고 실험을 진행한다. 또한, SDR 장비와 심층학습을 활용하는 MATLAB 예제 코드를 바탕으로 제안 기법의 실험을 위한 코드를 구현하였다[3], [4]. 구체적으로 그림 2와 같이 아기인형이 놓인 침대를 USRP B210과 AP의 중간에 위치하도록 배치했으며 각 장치와의

거리는 60cm로 설정하였다. AP는 5GHz 대역과 128번을 사용하였다. 실험 중 아기인형의 자세 변경을 실을 이용하였다. CSI 데이터 수집에서는 정자세(Supine)와 측면 자세(Lateral) 두 가지 레이블로 사용한다. 수집된 CSI 데이터는 정규화 과정 등의 전처리 과정을 거치며 학습, 검증, 테스트 데이터로 분할되어 80%는 학습에 사용, 나머지 20%는 검증 및 테스트에 사용된다.



(a) 정자세로 누운 자세



(b) 옆으로 누운 자세

그림 2. 실험 환경 예시

본 연구에서는 두 가지 상황별로 정자세는 2400장, 옆으로 누운 자세는 3000장 이상의 CSI 데이터를 수집하고 이를 바탕으로 CNN 모델을 학습하여 영유아 자세 탐지 시스템을 구축한다.

표 2. confusion matrix (Sensing Accuracy = 57.85%)

		Predicted	
		supine	lateral
Ground Truth	supine	61.5%	38.5%
	lateral	45.8%	54.2%

표 3. confusion matrix (Sensing Accuracy = 68.86%)

		Predicted	
		supine	lateral
Ground Truth	supine	71.1%	28.9%
	lateral	33.3%	66.7%

제안 시스템의 성능을 측정하기 위해 다음과 같이 정의되는 정확도(Accuracy)를 사용한다.

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{Number of Correct Predictions}}{\text{Total Number of Predictions}}$$

표 2는 각각의 데이터를 500장씩 모아 학습 및 테스트를 진행했을 때의 결과이며, 57.85% 정확도를 가지는 것을 확인할 수 있다. 표 3을 통해 표 2의 실험과 비교하여 더 많은 데이터를 학습 및 테스트에 사용한 결과이다. 감지 정확도가 68.86%로 증가한 것을 확인할 수 있다. 제안 시스템은 정자세를 71.1%의 정확도로, 옆으로 누운 자세는 66.7%의 정확도로 감지할 수 있다.

IV. 토의사항

본 논문에서는 영아 돌연사 방지를 위한 비접촉 방식의 영유아 수면 자세 감지 시스템을 제안하였다. 실험은 침대

에 누운 아기인형의 정자세와 옆으로 누운 자세를 분류하는 방식으로 진행되었다. 최종 실험의 정확도는 68.86%로 관찰되었다. 이는 실제 환경에서 사용하기에는 다소 낮은 정확도이다. 그러나 실험 결과 더 많은 데이터를 수집하여 학습한 경우 정확도가 향상되는 것을 확인할 수 있다.

낮은 정확도의 원인은 다음과 같이 분석된다. 첫째, 실험에 실제 영아가 아닌 아기인형을 사용하였다. 실제 영아와 아기인형의 피부 구성에 따른 무선신호 반사 특성이 다를 것으로 예상된다. 또한, 아기인형의 크기가 작아 자세 식별이 어려웠을 가능성이 있다. 둘째, 실험이 지나치게 단순화된 환경에서 이루어졌다는 점이다. AP와 SDR 장치를 60cm의 고정 거리로 배치하였으며, 다양한 거리나 조건에서 실험을 수행하지 않아 학습 데이터가 제한적이었을 가능성이 있다. 또한, 실제 침실 환경에는 다양한 방해물이 존재하는데 실제 Wi-Fi 기반의 CSI 데이터는 이러한 방해물들에 영향을 받는다[5]. 따라서, 복잡한 환경에서 얻은 CSI 데이터에서 영아의 자세 정보만을 효과적으로 분리·추출할 수 있는 기술이 필요하다.

V. 결론

본 연구에서는 Wi-Fi CSI 데이터를 활용하여 영유아의 수면 자세를 비접촉 방식으로 탐지하는 무선통신 시스템에서 심층학습 응용방안을 제안하였다. 실험 결과, 일부 자세에서의 분류 성능은 제한적이었지만, 접촉 센서 없이 무선신호만으로 자세 변화를 감지할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다. 향후 다양한 데이터와 환경 조건을 반영한 추가 연구를 통해 실용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국립한밭대학교 공학교육혁신센터 “창의융합형 공학인재양성지원사업”, 2025년 과학기술정통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 지원으로 수행되었음 (2022-0-01068)

참 고 문 헌

[1] L. R. Blackmon et al., “Apnea, sudden infant death syndrome, and home monitoring”, *Pediatrics*, vol. 111, no. 4, pp. 914-917, 2003

[2] Y. Sun et al., “Global, regional, and national burden of sudden infant death syndrome, 1990 - 2021: a comprehensive analysis of GBD 2021 data with insights into the impact during the COVID-19 pandemic,” *Frontiers in Pediatrics*, vol. 13, p. 1606910, Jun. 24, 2025.

[3] MATLAB, “Detect Human Presence Using Wireless Sensing with Deep Learning”.

[4] 민현선 외 “무선랜 기반의 실내 공간용 사람 탐지 시스템” 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집 (2023): 589-590.

[5] H. Lee et al., “The effects of housing environments on the performance of activity-recognition systems using Wi-Fi channel state information: An exploratory study,” *Sensors*, vol. 19, no. 5, Article 983, 2019.