

# 응급실 혼잡도 모니터링을 위한 비침습적 랜덤 포레스트 기반 실시간 점유도 추정 시스템 설계

이재성\*, 이병찬\*, 정성원\*, 임은혜\*, 김영인\*

## Design of a Non-Invasive Real-Time Congestion Estimation for Emergency Department Congestion Using Random Forest-Based Occupancy Prediction

Jae-Seong Lee\*, Byeong-Chan Lee\*, Seong-Won Jeong\*, Eun-Hye Im\* and Young-In Kim\*

### 요약

응급실 혼잡도를 정확히 예측하면 환자 배정을 최적화하고 대기 시간을 줄이며 치료 효과를 높일 수 있으나, 기존 시스템은 실시간 성능과 정확성에서 한계를 지니고 있다. 또한, 전공의 대규모 사직으로 응급실 환자 미수용 사례 증가로 인해 신뢰할 수 있는 실시간 응급 의료 정보의 필요성이 더욱 강조되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구는 CO<sub>2</sub>, 온도, 소리 및 적외선 센서를 활용한 비침습적 실시간 혼잡도 추정 시스템을 제안하며, 개인정보를 보호하면서 응급실 점유율을 모니터링할 수 있도록 설계한다. 제안된 시스템은 다중 센서 데이터를 사용하여 더 정확한 점유율 추정과 혼잡도 예측을 수행하기 위해 랜덤 포레스트 모델을 사용한다. 실험 결과, 응급실 환경과 유사한 기존의 방 점유 데이터셋을 사용한 실시간 점유율 예측에서 우수한 인원수 추종이 가능함을 보였으며, 이 결과는 개인정보를 보호하면서도 효과적으로 응급실 혼잡도를 측정할 수 있음을 보였다.

### Abstract

Emergency Department(ED) congestion can optimize patient allocation, reduce waiting times, and improve treatment outcomes; however, current systems are limited in both real-time performance and accuracy. Additionally, the recent mass resignation of medical residents has heightened the need for reliable, real-time emergency medical information due to an increase in cases of ED patient rejection. To address these challenges, this study proposes a non-invasive, real-time congestion estimation system using CO<sub>2</sub>, temperature, sound, and infrared sensors designed to monitor ED occupancy while preserving patient privacy. The proposed system utilizes a Random Forest model to integrate multi-sensor data, enabling more accurate occupancy estimation and congestion prediction. Experimental results, derived from a real-time occupancy estimation using a dataset of room occupancy similar to an ED environment, demonstrate the system's high accuracy in tracking the number of occupants. These findings indicate that this approach effectively measures ED congestion while ensuring privacy protection.

### Key words

Emergency Department, Occupancy Estimation, Non-Invasive Sensor, Random Forest, Privacy Protection

---

\* 부산대학교 IT응용공학과

## I. 서 론

지난 10년간 전 세계적으로 응급실(ED: Emergency Department) 과밀화 문제는 중요한 공중 보건 이슈로 대두되었으며[1], 특히 최근 들어 국내에서 발생한 전공의 사직과 파업으로 응급 환자들이 적시에 치료받지 못하거나, 응급실이 환자를 수용하지 못하는 사례도 빈번히 보고되고 있다. 응급 상황에서 구급대원이 응급실의 수용 가능 인원과 점유율을 정확히 파악하는 능력은 환자의 생명과 직결되므로, 이를 지원하는 머신 러닝 기반 연구가 활발히 진행 중이다[1]. 그러나 현재의 응급실 종합 상황판 시스템은 대기 환자의 수를 정확히 반영하지 못하거나, 입력 지연으로 인한 한계가 있으며, 기존 점유율 예측 연구에서는 주로 침습적 센서를 사용하여 개인정보 침해 문제와 높은 비용 부담이 발생하는 문제가 있다[2].

응급실은 일반 대중이 의료 서비스를 접하는 주요 시작점이므로, 예측할 수 없는 수요로 인해 병원 운영과 관리에 어려움을 겪기 쉽다. 이러한 환경에서 ED 방문자 수의 정확한 추정은 자원 배치 최적화, 비용 절감, 공공 신뢰도 제고에 필수적이다[1]. 최근 ED 혼잡도와 점유율 예측을 위해 ARIMA, 선형 회귀(LR), 푸아송 회귀, 인공 신경망(ANN) 등 다양한 접근법이 사용되고 있으며, 이러한 모델은 다양한 요인에 따라 예측 성능이 달라진다[1]. ED 혼잡도를 효율적으로 예측하기 위해서는 현재의 ED 혼잡도를 구하여야 하며, 이를 통해 병원은 사전에 자원을 적절히 배분하여 환자 치료의 질을 개선할 수 있을 것이다. 또한, 현재 ED 혼잡도 추정에 기반한 예측은 단순히 자원 최적화를 넘어 환자 배정과 의료 서비스 효율성을 극대화하는 중요한 역할을 한다. 따라서 실시간 점유율 추정 시스템은 점유 상태에 따라 긴급 상황에서의 신속 대응을 가능하게 한다[2].

본 연구에서는 최소한의 비침습적 센서를 활용한 머신 러닝 기반 점유율 추정 시스템을 제안하며, 기존 침습적 센서 사용의 개인정보 침해와 비용 문제를 개선하고자 한다. 특히 온도, 소리, 적외선(PIR: Passive infrared) 및 CO2 센서의 데이터를 사용하는

방식으로 실시간 점유 상태를 더욱 정확하게 추정할 수 있도록 설계하였다[2]. 이 시스템을 활용한다면 응급실 대기 시간 단축과 치료 효과 개선, 그리고 의료 자원의 효율적 사용에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## II. 시스템 개요

### 2.1 시스템 기능

#### < 비침습적 실시간 혼잡도 추정 시스템 >

본 연구에서 제안하는 시스템은 그림 1과 같이 이산화탄소 농도, 온도, 빛 및 적외선 센서를 통해 수집한 데이터를 기반으로 응급실 내 실시간 혼잡도를 추정한다. 이러한 실시간 혼잡도 모니터링은 응급실 간 환자 분산을 최적화하여 대기 시간을 단축하고 치료 효율성을 향상할 수 있다. 이를 통해 환자가 적절한 곳에서 치료를 받을 기회를 높일 수 있으며, 혼잡도가 낮은 응급실로 안내함으로써 전체적인 응급 의료 서비스의 효율성을 높일 수 있다.

제안한 시스템의 주요 특징은 비침습적 센서만을 활용하여 공간 내 점유율을 추정한다는 점이다. 이는 기존의 침습적 방식과 달리 개인정보 보호를 보장하면서도 정확한 혼잡도 측정이 가능하다. 특히 의료 환경에서 요구되는 프라이버시 보호 요구사항을 충족하면서 지속적인 데이터 수집이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 환자 및 방문객의 개인정보를 침해하지 않으면서 공간 내 인원 점유율을 추정하여 개인 정보 보호에 대한 윤리적 문제를 해결할 수 있다. 또한 환자의 신뢰를 높이고, 병원 내에서 데이터 수집을 지속할 수 있도록 한다.

### 2.2 제안 알고리즘

본 연구의 제안된 알고리즘은 그림 1과 같다. 이 알고리즘은 응급 상황 발생 시 구급대원이 환자에게 가장 적합한 응급실을 추천하는 것으로, 응급실 혼잡도와 사용자 위치라는 두 가지 기준을 적용한다. 현재 응급실의 혼잡도는 응급실 종합상황판의

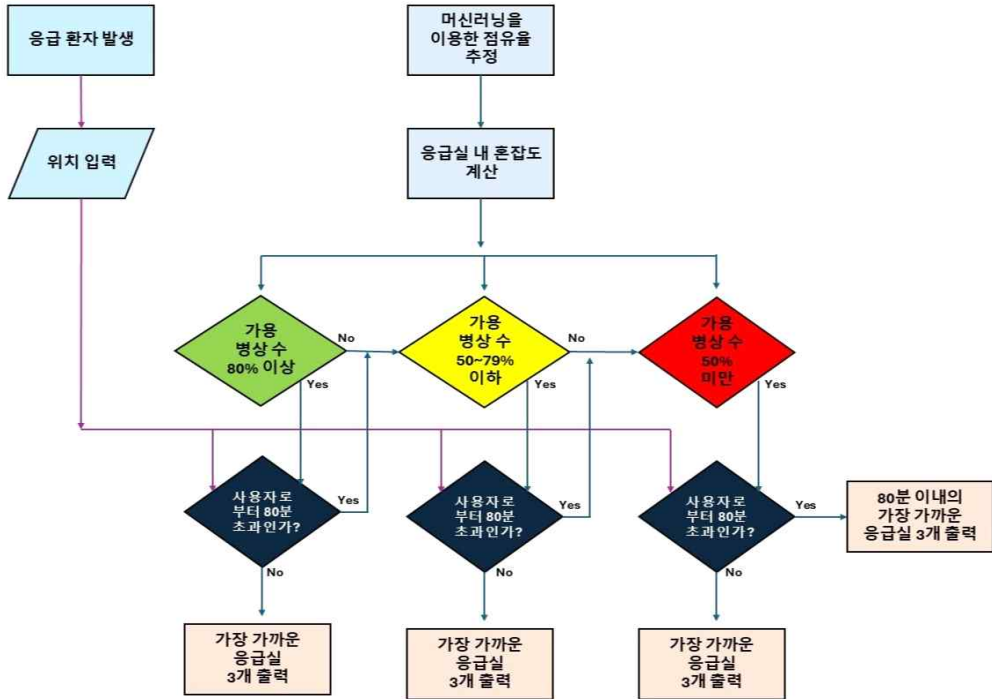


그림 1. 응급 환자 발생 시 점유율 추정치를 이용한 응급실 추천 알고리즘

Fig. 1. Emergency Department Recommendation Algorithm Using Occupancy Estimates in Emergency Cases

지표를 참고하여 초록색(원활), 노란색(혼잡), 빨간색(포화) 세 단계로 분류된다. 시스템은 사용자의 현재 위치를 입력 값으로 받아 OHAT 권고 기준에 따라 80분 이내에 도달 가능한 응급실을 고려한다 [4].

환자 배정을 위해 우선순위 기반 분류 접근법 (priority-based classification approach)을 사용하여 혼잡도가 낮은 응급실을 먼저 배정한다. 배정 순서는 원활 → 혼잡 → 포화 순으로 진행되며, WHO 권고에 따라 최적의 접근성을 보장하기 위해 1시간 이내(최대 100km) 응급실을 먼저 필터링한다. 주변에 원활한 상태의 응급실이 없으면, 가장 가까운 혼잡한 응급실로, 혼잡한 응급실도 없다면 포화 상태의 응급실로 차례대로 배정한다.

본 연구의 알고리즘은 응급실 혼잡도를 정확히 예측하기 위하여, 비침습적 센서를 이용하여 추정된 응급실 점유율을 중앙응급의료센터 제공되는 최대

병상수로 나누어 실시간 혼잡도를 추정하고, 추정된 혼잡도를 가용 상태에 따라 구분한다. 이 방법으로 개인정보 침해 없이 응급실의 혼잡도를 추정할 수 있다.

제안한 알고리즘을 적용한 시스템에서는 제안한 알고리즘과 사용자의 위치를 복합적으로 고려하여 환자가 적시에 치료받을 수 있는 응급실을 추천한다.

### 2.3 혼잡도 추정 모델 개발

본 논문에서는 실제 응급실 데이터를 수집하는데 어려움이 있어, 유사한 환경에서 방 점유 인원을 추정하는 [3]의 데이터셋을 사용하여 실험을 진행하였다. 이 데이터셋은 CO2, 온도, 소리, 적외선 센서를 이용해 제한된 실내 공간에서 수집된 데이터로 구성되어 있다.

실험은 해당 실내 공간을 응급실의 최소기능제품(MVP: Minimum Viable Product)으로 가정하여 진행하였다. 첫 번째 단계에서는 비침습적 센서인 CO<sub>2</sub>, 온도, 소리, 적외선 센서를 이용하여 데이터를 수집한다고 가정하여 [3]의 데이터셋을 사용하였다. 두 번째 단계에서는 센서 데이터의 스케일을 조정하기 위해 표준화를 수행하였다. 다음으로, [3]과같이 기계 학습 알고리즘인 선형 판별 분석(LDA: Linear Discriminant Analysis), 이차 판별 분석(QDA: Quadratic Discriminant Analysis), 선형 커널을 사용한 서포트 벡터 머신, RBF 커널을 사용한 서포트 벡터 머신과 RF(Random Forest)를 적용하여, 10-겹 교차 검증 기법으로 각 모델의 정확도와 F1 스코어를 비교하였다. 그 결과, 실내 점유율을 추정하는 데 있어 RF 알고리즘이 가장 우수한 성능을 보여, RF 알고리즘을 선택하여 사용하였다.

### III. 결론

본 논문에서는 응급실 혼잡도 예측 성능을 높이기 위해 비침습적 센서 데이터를 활용한 랜덤 포레스트(RF) 모델을 제안하였다. 특히, CO<sub>2</sub>, 온도, 적외선 등의 비침습적 센서를 이용해 실시간으로 점유율을 예측함으로써 환자 대기 시간 감소와 의료 서비스 효율성 증대를 목표로 하였다.

본 연구는 실제 응급실 환경을 반영하기 어려운 한계를 극복하기 위해 실내 공간을 응급실의 최소기능제품(MVP)으로 가정하고 실험을 진행했으며, 이 과정에서 다중 센서 데이터를 활용한 점유율 예측의 가능성을 확인하였다. 그러나, 실험 데이터는 실제 응급실이 아닌 유사 환경에서 수집된 것이므로, 향후 연구에서는 실제 응급실에서 수집한 데이터를 통해 RF 모델의 성능을 더욱 정밀하게 검증할 필요가 있다.

이를 통해 응급실 특유의 환경적 요인을 반영한 혼잡도 예측이 가능해질 것이며, 궁극적으로 더욱 신뢰도 높은 응급실 혼잡도 예측 시스템 개발에 기여할 수 있을 것이다. 이러한 추가 검증이 이루어진다면, 본 연구의 모델은 실시간 의료 자원 관리와 환자 배정 최적화에 있어 효과적인 도구로서 활

용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] E. Silva, M. F. Pereira, J. T. Vieira, J. Ferreira-Coimbra, M. Henriques, and N. F. Rodrigues, "Predicting hospital emergency department visits accurately: A systematic review," *Int. J. Health Plann. Manage.*, vol. 38, no. 4, pp. 904-917, Oct. 2023.
- [2] P. Chaudhari, Y. Xiao, M. M. C. Cheng, and T. Li, "Fundamentals, algorithms, and technologies of occupancy detection for smart buildings using IoT sensors," *Sensors*, vol. 24, no. 7, pp. 2123-2173, March 2024.
- [3] V. Chidurala and X. Li, "Occupancy Estimation Using Thermal Imaging Sensors and Machine Learning Algorithms," *IEEE*, vol. 8627, pp. 8627-8638, March 2021.
- [4] Jang W. M., Lee J., Eun S. J., Yim J., Kim Y., and Kwak M. Y., "Travel time to emergency care not by geographic time, but by optimal time: A nationwide cross-sectional study for establishing optimal hospital access time to emergency medical care in South Korea," *PLoS ONE*, vol. 12, pp. 1-15, May 2021.