

피로도 분석 및 낙상 감지를 통한 스마트 물류 안전관리 시스템 구현

오주희, 최수진

동양미래대학교

jenny13556@m365.dongyang.ac.kr, dudin03@m365.dongyang.ac.kr

Implementation of a Smart Logistics Safety Management System Using Fatigue Analysis and Fall Detection

Ju Hee Oh, Su Jin Choi

Dongyang Mirae University

요약

본 논문에서는 물류 산업 종사자의 안전 확보와 작업 효율 향상을 목표로 웨어러블 기반 스마트 물류 안전관리 시스템 쉼박스(SHIMBOX)를 구현하였다. 쉼박스는 웨어러블 디바이스로부터 수집되는 생체 및 동작 데이터를 활용하여 작업자의 피로도를 정량적으로 분석하고, 낙상 감지를 통해 위험 상황을 실시간으로 인지하도록 설계되었다. 피로도 점수는 주요 지표를 정규화한 후 가중합 방식으로 산출하여 작업자 상태를 단계별로 분류하였으며, 분석 결과는 모바일 애플리케이션과 관리자 웹을 통해 제공된다. 본 논문에서는 시스템 구조와 피로도 계산 수식, 주요 구현 화면을 중심으로 쉼박스의 구현 결과와 현장 적용 가능성을 제시한다.

I. 서론

물류 산업의 성장으로 배송 종사자의 장시간 노동과 반복 이동이 증가하면서 작업자 피로 누적과 안전사고 위험이 확대되고 있다. 그러나 기존 물류 운영 방식은 작업자의 상태를 충분히 반영하지 못해 능동적인 안전 관리에 한계가 있다. 본 연구에서는 피로도 분석, 낙상 감지, 배송 경로 최적화 기능을 통합한 스마트 물류 안전관리 시스템 쉼박스를 설계 및 구현하고, 실제 구현 결과를 중심으로 적용 가능성을 분석한다.

II. 본론

1. 시스템 구조

쉼박스는 웨어러블 디바이스, 모바일 애플리케이션, 서버, 관리자 웹 시스템으로 구성된다. 웨어러블 디바이스에서 수집된 생체 및 동작 데이터는 모바일 애플리케이션을 통해 서버로 전송되며, 서버에서는 피로도 분석, 낙상 감지, 배송 경로 최적화 처리가 수행된다. 분석 결과는 작업자에게는 모바일 알림으로, 관리자에게는 웹 기반 통합 모니터링 화면으로 제공된다.

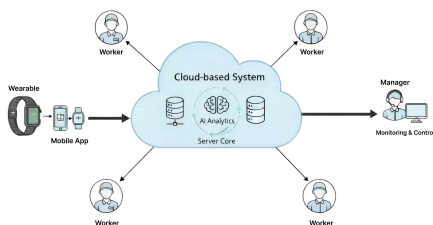


Fig. 1. System Architecture

2. 데이터 수집

웨어러블 디바이스와 운영체제 연동 인터페이스를 활용하여 심박수, 걸음 수, 활동 시간, 가속도, 각속도, 사용자 신체 정보를 수집한다. 수집된 데이터는 모바일 애플리케이션에서 집계된 후 서버로 업로드되며, 피로도 분석 및 낙상 감지 알고리즘의 입력 데이터로 사용된다.

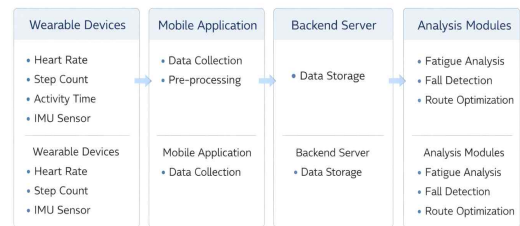


Fig. 2. Input Data

3. 피로도 분석 알고리즘 구현

작업자의 피로 상태를 분석하기 위해 정적 생체 지표 기반 Random Forest 모델과 시계열 패턴 기반 PatchTST 모델을 결합한 하이브리드 방식을 적용하였다. Random Forest는 평균 심박수, 활동량, 연속 작업 시간, 가속도 변화량과 같은 요약 지표를 이용하여 현재 피로 상태를 예측하며, PatchTST는 시간에 따른 심박 및 활동 패턴의 변화를 분석하여 피로 누적 경향을 반영한다. 정적 입력 변수는 다음과 같이 정의된다.

$$X = [HR_{avg}, STEP, ACT, ACC]$$

Random Forest와 PatchTST의 예측 결과를 각각 Y_{RF} , Y_{TST} 로 정의하며, 최종 피로도 Y 는 다음과 같이 결정한다.

$$Y = \max(Y_{RF}, Y_{TST}), Y \in \{\text{좋음, 주의, 위험}\}$$

여기서 피로도 등급의 순서는 좋음 < 주의 < 위험으로 정의한다. 최종 피로도 등급은 좋음, 주의, 위험의 세 단계로 분류되며, 결과는 모바일 애플리케이션을 통해 시각적으로 제공된다.

4. 낙상 감지 기능 구현

낙상 감지는 웨어러블 디바이스에 내장된 가속도 및 각속도 센서 데이터를 기반으로 급격한 움직임 변화를 분석하여 구현하였다. 짧은 시간 구간 내 임계값을 초과하는 가속 및 회전 변화가 발생할 경우 낙상으로 판단하며, 위험 상황이 감지되면 모바일 애플리케이션을 통해 즉각적인 경고 알람을 제공한다.

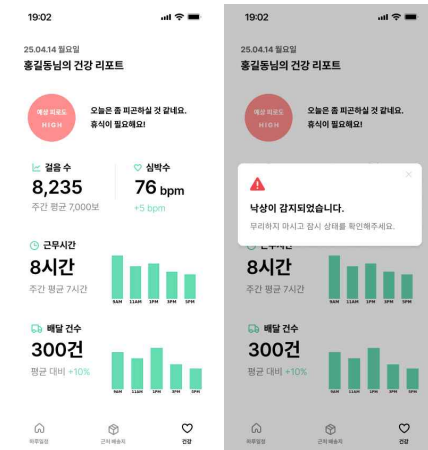


Fig. 3. Real-time Alert Screens for Abnormal Heart Rate and Fall Detection

5. 배송 경로 최적화 기능 구현

배송 경로 최적화 기능은 전체 이동 거리 최소화를 목표로 하는 휴리스틱 기반 탐색 기법을 적용하여 구현하였다. 이를 통해 계산 복잡도를 줄이면서도 실제 물류 환경에 적용 가능한 경로 효율성을 확보하였다. 도출된 최적 경로는 모바일 애플리케이션의 지도 인터페이스를 통해 시각적으로 제공된다.

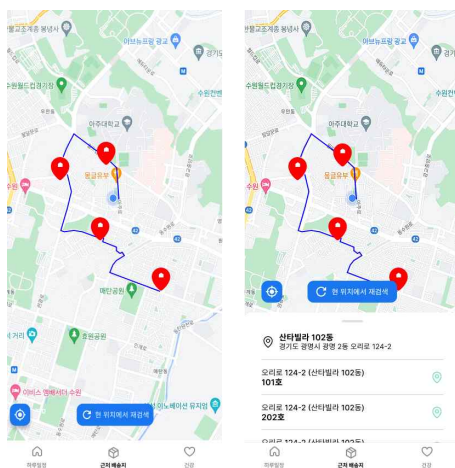


Fig. 4. Optimal Delivery Route Visualization Using TSP-based Algorithm

6. 관리자 웹 시스템 구현

관리자 웹 시스템은 작업자별 피로도 상태, 낙상 이력, 배송 진행 상황을 통합적으로 모니터링할 수 있도록 구현되었으며, 이를 통해 관리자는 현장 상황을 실시간으로 파악하고 위험 상황에 신속히 대응할 수 있다.

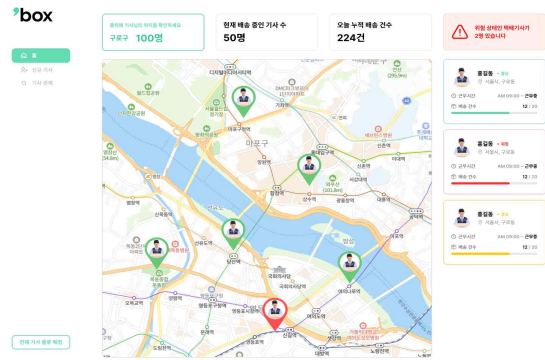


Fig. 5. Web-based Administrator Monitoring Dashboard

III. 결론

본 논문에서는 웨어러블 기반 생체 및 동작 데이터를 활용하여 피로도 분석, 낙상 감지, 배송 경로 최적화 기능을 통합한 스마트 물류 안전관리 시스템 ‘쉽박스’를 설계 및 구현하였다. 제안 시스템은 정적 생체 지표와 시계열 패턴 분석을 결합한 피로도 분석 알고리즘과 센서 기반 낙상 감지 기능을 통해 작업자의 상태를 실시간으로 파악하고, 모바일 애플리케이션과 관리자 웹을 통해 직관적인 피드백과 통합 모니터링을 제공한다는 점에서 의의가 있다. 이를 통해 물류 작업 환경에서 작업자 안전 확보와 업무 효율 향상을 동시에 지원할 수 있음을 확인하였다.

향후 연구에서는 실제 물류 현장을 대상으로 한 장기 실증 실험을 통해 제안 시스템의 성능을 정량적으로 검증하고, 사용자 특성을 반영한 개인화 분석 기법과 외부 환경 정보(기상, 교통 정보 등) 연계를 통해 시스템의 활용 범위를 확장할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 동양미래대학교 웹응용소프트웨어공학과 학부 연구 및 프로젝트의 일환으로 수행되었다. 연구 전반에 걸쳐 지도와 조언을 아끼지 않으신 지도교수님께 깊은 감사를 드리며, 시스템 설계 및 구현 과정에서 도움을 주신 모든 분들께 감사의 뜻을 전한다.

참 고 문 헌

- [1] Na-Yeon Kim and Dong-Geun Kim, “Mobile-based Fatigue Measurement System Using Smart Wearable Devices,” Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol.21, No.12, pp.2357–2364, 2017.
- [2] Byung-Wook Yoon et al., “Basic Study on Construction Accident Prevention System Using Wearable Devices,” Journal of the Architectural Institute of Korea, 2016.
- [3] Mi-Jeong Kim et al., “Pilot System for Parcel Delivery Shortest Path Search Using Ant Algorithm,” Journal of Digital Design, 2019.
- [4] Jin-Young Yang and Haeng-Joo Lee, “Optimal Order Selection and Routing for Food Delivery Riders,” Journal of Production Management, Vol.33, No.4, pp.66–677, 2022.