멀티모달 생체신호 데이터를 이용한 머신러닝 기반 집중도 예측 모델 개발

이준혁 이동원 최예지 이원희
경희대학교 소프트웨어융합학과
{leejoon2067, dlehddnjs, yejilagoo, whlee}@khu.ac.kr

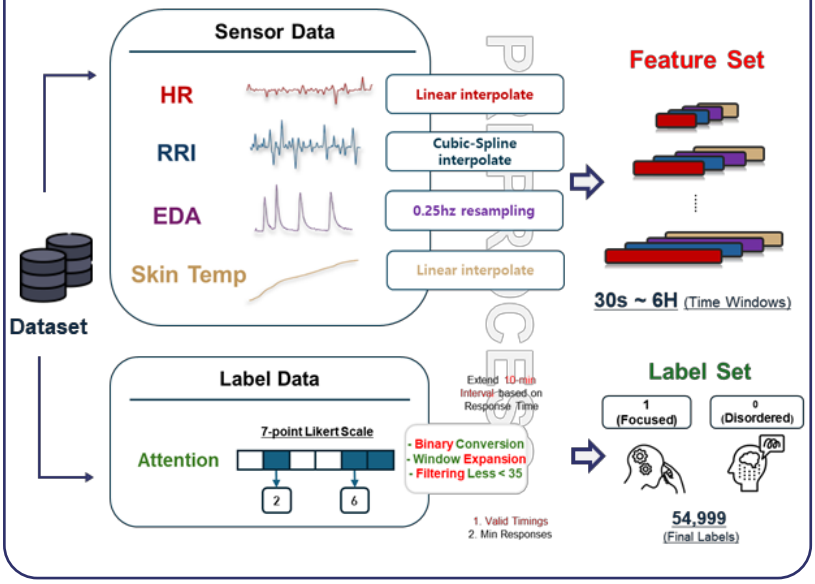
경희대학교 KYUNG HEE UNIVERSITY

Introduction

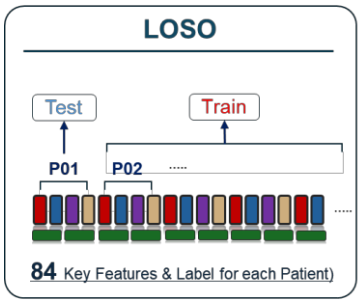
- 현대 교육 분야에서 학습자의 **집중 상태를 정량적으로 측정하고 예측**하는 것은 학습 효율 극대화, 학업 성취도 제고와 직결된다는 점에서 학술적 의의를 가짐. [1]
- 특히, 시중의 다양한 웨어러블 기기와 스마트폰 센서의 발전은 집중 상태 예측 연구의 가능성을 확장하는데 크게 기여하였음.
- 디지털 기기로 수집된 멀티모달 **시계열 센서 데이터는 단일 센서 기반 접근 대비 더 높은 예측 정확도와 강인성**을 제공함.
- 본 연구는 웨어러블 기기로 수집한 HR, R-R 간격(RRI), EDA, 피부 온도로 **참가자의 집중도를 머신러닝 기반으로 예측하는 파이프라인**을 제안함. [4]

Methods

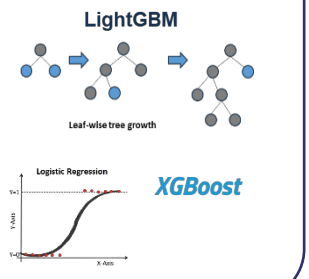
Data Processing & Feature Extraction



Cross-Validation

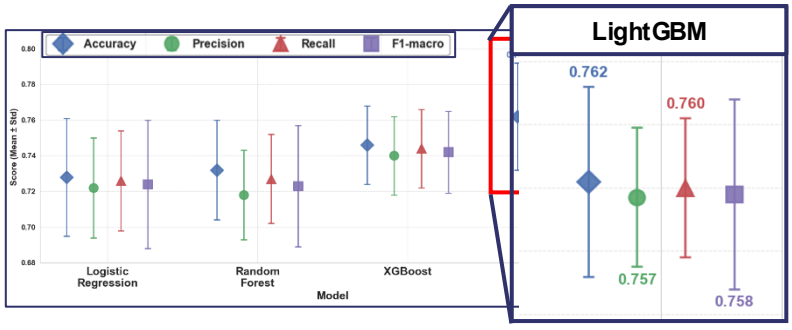


Modeling



- **센서 시계열 확장**: 설문 응답 직전 **10분 구간의 생리 신호**를 입력 시계열로 확장하여 학습 샘플 생성.
- **라벨 데이터 확장**: **응답 직전의 생리 변화가 집중도에 반영**되도록 라벨 타이밍 정렬 및 원도우 확장.
- **특징 생성 및 선택**: 시계열 데이터를 **10분~6시간 윈도우 단위로 리샘플링** 후 평균, 분산, 왜도, 엔트로피 등 **통계 기반 특징** 산출. **Linear SVC 기반 L1 정규화**로 핵심 특징 선택.
- **모델 학습 및 평가: 선택된 Feature/Label을 교차검증(Cross-Validation)과** LOSO 방식으로 다양한 ML 모델에 적용.

Results



- LightGBM은 기본 모델인 Logistic Regression 대비 모든 성능 지표(Accuracy, Precision, Recall, F1-macro)에서 약 **0.04** 수준의 향상을 보임.
- 또한, **Accuracy = 0.762**, **F1-score = 0.758**로 타 모델 대비 가장 안정적이고 높은 성능을 기록하였으며, **복합적·비선형적 특성을 가진 생체 신호 환경에서도 우수한 일반화 성능**을 확인함.

Conclusions

- 본 연구는 **웨어러블 센서 기반 멀티모달 생체 신호**를 활용하여 **머신러닝 기반 집중도 예측 파이프라인**을 제안함.
- XGBoost, Random Forest, Logistic Regression 등 여러 분류 모델을 대상으로 한 비교한 결과, **LightGBM이 모든 평가 지표에서 가장 우수한 성능을** 보임.
- 본 연구 결과는 실제 학습 및 업무 환경에서 적용 가능한 **실시간 집중 모니터링 및 피드백 시스템으로 확장이 가능함을 시사함.**

References

[1] Forero-Corba, W., & Bennsar, F. N. (2024).
[2] Steil, J., Müller, P., Sugano, Y., & Bulling, A. (2018, September)
[3] Vanneste, P., Raes, ... (2021)
[4] Kang, S., Choi, W., Park, C. Y., Cha, N., Kim, A., Khandoker, A. H., ... & Lee, U. (2023)
[5] Boffet, A., Arsac, L. M., Ibanez, V., Sauvet, F., & Deschodt-Arsac, V. (2025)
[6] Eguchi, K., Aoki, R., Shimauchi, S., Yoshida, K., & Yamada, T. (2018)
[7] Tang, Y. (2013) [8] Sperandei, S. (2014)
[8] Chen, T., & Guestrin, C. (2016, August)
[9] Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q., & Liu, T. Y. (2017)