

뉴로피드백을 활용한 적응형 수면 가이드 시스템에 대한 모델링 및 구현

이재연*, 이택*, 김민관*, 인호*, 이현정**

*고려대학교 정보대학

**고려대학교 의과대학

e-mail : {eternalbless, comtaek, dsxkxsb, hoh_in, leehjeong}@korea.ac.kr

Modeling and Implementing Neurofeedback System for Adaptive Sleep Guidance

Jae-Yeon Lee*, Taek Lee*, Min-Kwan Kim*, Hoh In*, Heon-Jeong Lee**

*College. of Informatics, Korea University

**College. of Medicine, Korea University

요약

수면장애를 앓고 있는 사람은 점점 늘어나고 있는 추세이고 이를 해결하기 위한 보편적인 방법은 수면제, 멜라토닌 작용제 등의 약물을 투여하는 방법이지만, 약물에 대한 내성 및 부작용에 대한 위험이 따르기 때문에 약물 이외의 접근이 필요한 추세이다. 따라서 본 논문에서는 약물을 통한 방법 이외의 수면장애 해결에 도움이 될 수 있는 시스템으로 뉴로피드백을 활용한 수면 가이드 시스템을 제안한다.

1. 서론

수면장애란 건강한 수면을 취하지 못하거나 충분한 수면을 취하고 있음에도 낮 동안에 정신을 차리지 못하는 상태, 또는 수면 리듬이 흐트러져 잠자거나 깨어 있을 때 어려움을 겪는 상태를 말한다[1].

최근 수면장애를 앓고 있는 사람의 수는 2008년 23만명에서 2012년에 35만명, 2014년에 41만4천명으로 꾸준히 늘어나고 있는 추세고, 수면장애로 인하여 지출되는 건강보험 진료비는 2012년도 3,600만원에서 2014년도 4,600만원으로 증가한 것으로 나타났다[1]. 수면장애를 앓는 사람은 일상생활에도 잦은 졸음과 피곤함으로 활동에 지장을 주며, 업무의 생산성 혹은 사고 발생률의 증가를 불러올 수 있기 때문에 수면장애에 대한 치료 방법의 연구가 절실히다.

수면장애에 대한 치료법은 보편적으로 수면제, 멜라토닌 작용제, 항우울제 등의 약물을 사용한다. 하지만 약물에 의한 치료는 약물에 대한 내성 증가, 기억력 장애, 주간 졸립증과 같은 부작용이 있기 때문에 [2] 인지행동치료와 기구를 사용한 치료가 도입되기 시작하였다.

바이오퍼드백(biofeedback)은 직접 제어 불가한 자율신경계를 수의적으로 조절할 수 있도록 자극을 주는 방법이다. 그 중에서 뉴로피드백은 바이오퍼드백

의 한 종류로, 뇌파의 변화를 통해 뇌기능을 변화시키는 훈련을 말한다[4]. 본 논문에서는 이전 논문[3]에서 제안된 뉴로 피드백을 활용하여 사용자 스스로 수면을 유도할 수 있는 시스템에 대한 구현과 구현된 시스템에 대한 검증을 수행하였다. 구현된 시스템은 실시간으로 사용자의 뇌파를 측정하고, 측정된 뇌파를 기계학습을 통해 모델링 된 수식을 통하여 사용자의 수면 여부를 사용자에 맞게 적응하고 판별을 하는 안드로이드 플랫폼 어플리케이션의 구현에 대한 내용을 다룬다.

2. 관련 기술 및 연구

본 논문에서 다루는 뉴로피드백을 활용한 수면 가이드 시스템은 EEG(Electroencephalography)라는 뇌 신경 사이에 신호가 전달될 때 생기는 전기의 흐름 즉 뇌전도를 통하여 수면에 상태에 대해 판별한다. 관련된 연구로 EEG를 활용하여 수면상태를 판별하는 연구로 비선형분석을 통한 수면 단계에 대한 연구가 이루어졌으며[5], 본 논문에서 사용한 뇌파 측정 장치와 동일한 장치를 통하여 측정된 뇌파 데이터에 대한 검증을 하여 데이터의 유효성을 입증한 연구도 존재한다[6]. 또한 EEG를 활용하여 소프트웨어 개발에서의 집중도에 따른 결합 발생률 예측에 대한

연구[7] 와 EEG 에 따라 감정을 분류하고 검증한 연구와 같이 EEG 를 활용하여 사람의 상태를 판별하는 많은 연구가 이루어지고 있고, EEG 분석을 통해 유의미한 결과를 이끌어 낼 수 있음이 꾸준히 검증되고 있는 추세이다.

3. 수면 가이드를 위한 특징 정보 추출

3.1 데이터 수집

뇌파 패턴을 기계학습하기 위해 실험자들의 깨어 있는 상태와 수면 상태에 해당하는 각각의 뇌파 샘플들을 수집하는 과정이 필요하다. 우리는 6 명의 실험자들에게 뉴로스카이를 착용하여 약 2 시간 이상 잠을 청하도록 실험하였다. 깨어있는 상태에서 시작하여 잠을 자고 일어나기 까지의 전과정에 해당하는 뇌파를 수집하였다. 이때 뉴로스카이를 착용함과 동시에 수면뇌파 판독 전문 장비인 Embletta x100 을 함께 착용하도록 하였다. 이렇게 한 이유는 어느 시간 구간이 깨어있는 상태이고 어느 시간 구간이 잠든 구간인가를 좀더 신뢰도가 높은 전문 장비와 분석 전문가에 의해 판독하여 뉴로스카이 뇌파 샘플을 정확히 상태 레이블링하여 모델 학습용으로 구분하고 적용하기 위함이다.

3.2. 기계학습 모델링과 성능 검증

분류기 모델 학습을 위한 데이터가 준비되었다면 다음으로 분류를 돋는 특징정보들을 뇌파로부터 추출하여야 한다. 본 연구에서는 30초 길이의 뇌파 조각들로부터 총 13가지의 특징 정보를 설계하였고 상호간에 중복성을 제거하고 목적변수(sleep 또는 wake)와 높은 상관성을 보이는 특징만을 선별하기 위해 correlation-based feature subset (CFS) 특징

x₁: low alpha 중앙값
x₂: high alpha 중앙값
x₃: high beta 중앙값
x₄: delta 비율
x₅: theta 비율
x₆: alpha 대비 theta 비율
x₇: delta 중앙값
x₈: theta 중앙값
x₉: low beta 중앙값
x₁₀: low alpha 비율
x₁₁: high alpha 비율
x₁₂: low beta 비율
x₁₃: high beta 비율

(x₁...x₆: CFS 알고리즘에 의해 선택된 최종 특징정보)

<표 1> 모델링에 고려된 13 가지 특징 정보 목록

선택 알고리즘을 이용하여 최종적으로 영향력 있는 6개의 특징 정보만을 모델링에 선별 적용하였다. 특정 정보에서 중앙값이란 30초 구간에서 뇌파 관측값들의 중앙값을 의미하여, 비율이란 다른 뇌파의 신호세기 대비 해당 뇌파가 차지하는 상대적인 신호세기 정도를 의미한다.

다음은 표1에 정의된 13가지 특징정보 중에서 CFS 알고리즘으로 선별된 6개의 특징정보를 이용해 최종적으로 Logistic Regression 분석을 통해 얻은 분류기 모델이다.

$$P(y='sleep'|x_1, \dots x_6) = \frac{\exp(z)}{1 + \exp(z)}$$

$$z = -2.01 - 0.0001x_1 + 0 \times x_2 - 0.0006x_3 + 6.24x_4 + 20.35x_5 - 0.660x_6$$

실험자의 뇌파로부터 $x_1, \dots x_6$ 의 특징 정보가 관찰될 때 실험자가 sleep 상태일 확률은 $P(y='sleep'|x_1, \dots x_6)$ 으로 계산되며 이 값이 0.5 이상이 되면 sleep 상태로 판단을 하고 0.5미만이면 wake 상태로 판단을 하게 된다. 해당 분류기 모델은 10-fold cross validation을 통해 검증하였으며 검증 결과 분류 정확도는 89.7%으로 제시한 모델의 수면 상태 예측에 대한 유효성을 확인하였다.

4. 시스템 설계 및 구현

본 논문에서 제안하는 시스템은 이전 논문[3]에서 제안된 포터블 시스템 아키텍처를 안드로이드 플랫폼에서 구현을 하였다. 구현된 시스템은 Neurosky EEG Headset 을 통하여 EEG 데이터를 측정하고, 측정된 데이터는 그림 1. 과 같이 블루투스 통신을 통하여 안드로이드 어플리케이션으로 데이터를 전송한다.



(그림 1) 뉴로피드백 기반 포터블 수면 가이드 시스템 안드로이드 어플리케이션 구조



(그림 2) 안드로이드 어플리케이션 UI

이전 논문에서 제안된 시스템은 크게 Prediction function 과 Analysis function 두 가지 기능으로 나뉜다.

Prediction function 에서는 Neurosky EEG HeadSet 에서부터 블루투스로 측정된 뇌파의 값이 1 초 주기로 전달되는 EEG 데이터를 받고, 데이터베이스에 기록한다. 기록된 EEG 데이터에는 블루투스와 Neurosky 특성상 측정값에 노이즈가 발생할 수 있기 때문에, 노이즈에 의한 영향을 최소화시키기 위해 현재 시점에서 과거 30 초 구간까지의 측정된 뇌파 데이터 중에서 중앙값(Median)을 대표 값으로 취하였다. 3 절에서 소개된 Logistic Regression 모델에 입력으로 들어가 사용자의 수면 상태를 예측한다. 또한 사용자마다 존재하는 개인차는, 어플리케이션 UI 에 존재하는 민감도 조절바를 통하여 사용자에 따라 존재하는 개인차 또한 고려하고 이에 시스템이 사용자의 특성에 적응할 수 있도록 구현하였다. 즉, 3 절의 예 에서는 수면 판단의 임계값으로 0.5 를 이용하였지만 민감도 조절바를 이용해 개인화가 가능하다.

Analysis function 은 3 절에서 다룬 데이터 수집과 모델링을 통하여 구현된 EEG 예측 모델과, 어플리케이션에 실시간으로 측정된 데이터를 저장하는 데이터베이스를 구현하였다.

5. 결론

본 논문에서는 이전 논문에서 제안한 뉴로피드백을 활용한 수면 가이드 시스템을 Neurosky EEG Headset 과 안드로이드 플랫폼을 통해 구현한 과정을

소개하였다. 구현된 시스템은 실시간으로 사용자의 EEG 데이터를 측정하고, 측정된 데이터를 기계학습을 통해 모델링하여 수면상태를 분류할 수 있는 모델을 생성하였다. 이 모델을 통해, 사용자는 실시간으로 수면상태를 피드백 받을 수 있고, 사용자 간에 존재하는 개인차에 대해 시스템이 고려하고 적응하여 수면 단계를 판별할 수 있는 시스템을 구현하였다.

향후 연구로는 소리 혹은 빛과 같은 자극을 통한 효과적인 피드백 방법에 대한 연구와 구현된 시스템과 피드백이 결합된 시스템의 임상시험을 통한 실제 적용 가능성 여부에 대한 연구가 필요하다.

사사

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보·컴퓨팅기술개발사업(2012M3C4A7033345)과 보건복지부의 재원으로 한국보건산업진흥원의 보건의료기술연구개발사업 지원에 의하여 이루어진 것임(HI14C3212)

참고문헌

- [1] 곽동선, “수면장애(sleeping disorder) 인구 10 만명당 연평균 증가율, 30 대에서 가장 높아”, 보도자료- http://www.mohw.go.kr/front_new/al/sal0301vw.jsp?PAR_MENU_ID=04&MENU_ID=0403&CONT_SEQ=326120&page=1
- [2] Erika N. Ringdahl, MD, Susan L. Pereira, MD and John E. Delzell Jr, “Treatment of primary insomnia”
- [3] 김민관, 이정빈, 이택, 이현정, 인호, “뉴로피드백을 활용한 수면 유도 시스템”, 제 40 회 한국정보처리학회 추계학술발표대회
- [4] 최승원, “뉴로피드백의 발달과정 및 미래전망”, 뇌교육연구 제 6 권, 2010.9, 55-73
- [5] Rajendra Acharaya U, Oliver Faust, N.Kannathal, TjiLeng Chua, Swamy Laxminarayan, “Non-linear analysis of EEG signals at various sleep stages.”, Computer Methods and Programs in Biomedicine(2005) 80, 37-45
- [6] Katona, Jozsef, et al. "Evaluation of the NeuroSky MindFlex EEG headset brain waves data." Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 2014 IEEE 12th International Symposium on. IEEE, 2014.
- [7] Fritz, Thomas, et al. "Using psycho-physiological measures to assess task difficulty in software development." Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering. ACM, 2014.