DBpia

논문 15-40-09-12 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '15-09 Vol.40 No.09
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2015.40.9.1731

DWT를 적용한 EEG 기반 졸음 감지 시스템의 성능 향상

한 형 섭◆, 송 경 영°

Improvement of EEG-Based Drowsiness Detection System Using Discrete Wavelet Transform

Hyungseob Han◆, Kyoung-Young Song°

요 약

뇌파는 비선형적이고 비정상적인 특징을 가지므로 주파수 분석법보다는 시간-주파수 분석법을 적용하는 것이 효과적이다. 본 논문은 기존에 제안했던 EIV 기법과 다층신경망을 이용한 뇌파기반 졸음 감지 시스템에 시간-주파수 분석 방법인 이산 웨이블릿 변환을 적용한 졸음 감지 시스템을 제안한다. 또한 운전자의 상태를 기존의 '각성', '천이', '졸음'의 세 가지 상태에 '기타'를 추가하여 네 가지 상태로 분류율을 측정하였으며, 기계 학습을 수행하여 제안한 시스템이 특정 조건에서 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

Key Words : discrete wavelet transform (DWT), drowsiness detection, electroencephalogram (EEG), errors-in-variables (EIV)

ABSTRACT

Since electroencephalogram(EEG) has non-linear and non-stationary properties, it is effective to analyze the characteristic of EEG with time-frequency method rather than spectrum method. In this letter, we propose the modified drowsiness detection system using discrete wavelet transform combined with errors-in-variables and multilayer perceptron methods. For the comparison of the proposed scheme with the previous one, the state 'others' is added to the previous states of drivers: 'alertness,' 'transition,' and 'drowsiness.' From the computer simulation using machine learning, we confirm that the proposed scheme outperforms the previous one for some conditions.

Ⅰ. 서 론

운전 중 졸음은 교통사고 사망의 주요 원인 중 하나이다. 이러한 졸음운전을 보다 효과적으로 예방하기 위해 생체 신호를 이용하여 운전자의 졸음상태를 감지하는 시스템 개발에 대한 연구가 가속화 되고 있다. 특히 졸음에 대한 명확한 규명을 위하여 뇌파(EEG)와 안구전도를 통한 운전자의 피로와 졸음을 판별하는데 효과적이라는 의학적 연구결과가 발표되었다[1].

뇌파를 분석하고 특징을 추출하는 방법으로 초기에는 스펙트럼 분석 방법이 주류를 이루었지만, 뇌파의 비선형적(non-linear)이고 비정상적인(non-stationary)인 특징 때문에 최근에는 시간-주파수 분석법을 적용한 연구가 수행되었다. 특히 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform; DWT)를 이용하여 뇌파를 델타파, 세타파, 알파파, 베타파의 부대역(subband)으로 분해하여 통계적인 특성을 이용하는 연구가 수행되었다[2].

기존의 연구결과[3]는 뇌파의 스펙트럼 성분에 대한 'alpha block' 현상과 세타파의 변화를 기준으로 운전자의 상태를 '각성', '천이', '졸음'의 세 가지 상태로 분류하였다. 앞서 설명한 것처럼 뇌파의 비정상적인 특징 때문에 실제로 측정된 뇌파는 각성상태에 있더라도 위의 세 가지 상태의 조건에 해당하지 않는 경우가 발생한다. 이러한 이유로 단순히 시스템의 분류율 향상 문제보다 실질적인 상황을 반영하기 위하여 본 논문에서는 '기타(others)'라는 4번째 상태를 추가하였다. 또한 선행연구로 제안했던 EIV와 다층신경망을 적용한 졸음 감지 시스템의 성능 향상을 위하여 DWT를 적용하여 분해된 각 부대역에서 AR 계수를 추출하여 기존 시스템의 분류율과 비교하였다. Ⅱ장은 DWT 기반의 EEG 부대역 분해에 대해 설명하고, Ⅲ장에서는 이 논문에서 제안하는 DWT 기반 졸음 감지 시스템을 제안한다. Ⅳ장에서는 기계학습으로 제안한 시스템을 실험적으로 분석하였고, Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

◆ First Author : School of Electrical Engineering, University of Ulsan, oversh@ulsan.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : School of Electrical Engineering, Ulsan College, kysong@uc.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2015-07-209, Received July 6, 2015; Revised August 5, 2015; Accepted September 8, 2015

www.dbpia.co.kr

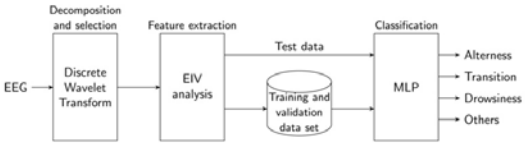

그림 1. 이산 웨이블릿 이용한 개선된 졸음감지 시스템
Fig. 1. Modified drowsiness detection system using DWT.

Ⅱ. 웨이블릿 기반 EEG 부대역 분해

DWT는 주어진 신호를 coarse approximation과 detail information으로 분해하여 각기 다른 해상도를 가진 서로 다른 주파수 영역에서 분석한다. DWT는 scaling과 웨이블릿 함수의 두 개의 쌍을 가지며 이는 저대역 통과 필터링와 고대역 통과 필터링으로 볼 수 있다. 즉 시간영역의 원 신호가 연속적인 저대역과 고대역 통과 필터에 의하여 서로 다른 대역의 주파수 영역으로 분해되며 이를 웨이블릿 계수라 부른다[2].

본 신호 $x[n]$은 먼저 다음의 저대역 통과 필터 $h_0[n]$과 고대역 통과 필터 $h_1[n]$을 통과하여 $y_{\text{low}}[n]$와 $y_{\text{high}}[n]$로 분해된다. 필터링 후에 샘플의 최대 주파수는 π에서 $\pi/2$ radians으로 줄어들어, 샘플의 절반이 나이퀴스트 법칙에 따라 제거 되어야 한다. 그러므로 분해된 샘플을 2로 다운샘플링을 하여 1-레벨 분해과정이 완성된다. 다음은 이러한 절차를 수학적으로 기술한 것이다.

$$y_{\text{low}}[n]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[n]h_0[2k-n] \quad (1)$$

$$y_{\text{high}}[n]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[n]h_1[2k-n] \quad (2)$$

신호의 고해상도 성분과 저해상도 성분을 표현하는 두 개의 수열은 각 단계별 분해 후, 저해상도 성분을 식 (1)과 (2)의 과정을 재차 반복하여 신호의 분해가 이루어진다.

Ⅲ. 개선된 졸음 감지 시스템

본 논문에서 제안하는 졸음 감지 시스템은 그림 1과 같이 4단계로 구성된다.

1) 데이터 취득 및 샘플링을 통한 운전자 상태 데이터베이스화

2) DWT를 이용한 원 데이터 분해

3) EIV를 이용한 AR 특징벡터 추출

4) MLP 신경회로망을 통한 상태 분류

뇌파 측정에 사용된 장비는 락싸에서 개발한 8채널 PolyG-I이다. 샘플링 주파수는 256Hz이며, 10/20 국제표준에 의거하여 Fp1, Fp2, F3, F4, P3, P4, O1, O2의 위치에 총 8개의 전극을 부착하고 실험환경을 구축하였다. 질병이 없는 운전면허를 소지한 학생(6명 남자, 2명 여자, 나이 : 만 25 ~ 30세) 8명이 실험을 위한 피험자로 선정되었다. (15명의 샘플 중 유의미한 측정 결과를 가진 8명을 선정함.) 실험 전날 뇌파에 영향을 줄 수 있는 술과 약 그리고 카페인 음료를 섭취를 금하도록 하였으며, 실험 전에 Epworth Sleepiness Scale(ESS) 설문 조사를 수행하여 평상시 주간 수면상태를 체크하였다[3]. 본 논문의 기존 방식 대비 개선 사항과 추가된 부분은 다음과 같다.

3.1 운전자 상태 정의

본 연구에서는 각성상태와 졸음상태에 대한 정의를 Hori의 기준에 맞추었다. Hori의 기준에 따라 피험자를 '각성', '천이', '졸음', '기타'의 네 가지 상태로 분류하였고 기존연구[3]과 같은 방법으로 데이터를 분할하였다. 또한 Yeo[1]의 방법과 같이 녹화된 피험자의 상황을 육안검사를 통하여 검증하였다. 이에 더하여 울산대학교 병원 신경과의 자문을 받아 데이터의 객관성을 확보하였다.

(1) 각성(Alertness)
- 눈깜빡임 artifact : 0.3~0.4s
- 눈깜빡임 주기: 6~8s
- EEG의 베타파 영역에서 활성화

(2) 천이(Transition)
- 눈 감고 있는 기간 : 0.5s 이상
- 후두부에서 알파파가 50%이상
- 알파블락 현상과 동시에 세타파의 출현

(3) 졸음(Drowsiness)
- 수면 방추파와 K 복합성분의 출현

(4) 기타(Others)
- 육안검사로 천이와 졸음으로 분류되지 않고 각성 뇌파의 특성을 보이지 않은 경우

3.2 웨이블릿 분해과정

EEG는 5가지 주요 부대역을 가진다. 이 부대역은 각각 델타, 세타, 알파, 베타, 감마로 불리며 0~60 Hz 주파수 범위를 가지고 있다. 그 이상의 고주파 대역의 신호는 노이즈로 취급할 수 있을 정도로 신호의 세기가 약하다. 취득한 EEG의 샘플링 주파수가 256[Hz]이

www.dbpia.co.kr

므로 본 연구는 취득 신호에 6단계 10차 Daubechies DWT를 적용하여 7개의 부대역으로 분해하였다. 여기서 d1 (128~256[Hz])과 d2 (64~128[Hz])을 제외한 a6, d6, d5, d4, d3 성분에 각각 EIV를 적용하여 AR 계수를 추출하도록 시스템에 적용하였다.

Ⅳ. 운전자 상태 분류결과

구축된 특징 벡터 데이터베이스를 바탕으로 학습과 테스트를 위한 데이터 설정은 EIV 기법으로 추출하였고, 이들을 70%는 학습용 데이터로 나머지 30%를 테스트용 데이터로 랜덤하게 나누었다. 또한 Kearns의 권장사항으로 학습 데이터의 20%를 검증을 위한 데이터로 나누었다[4]. 논문에서 적용한 다층 신경망 설계 및 학습에 대한 파라미터는 기존 연구와 동일한 조건으로 하였다[3].

기존 연구 결과로부터 AR계수를 위한 EIV 차수는 4차로 하고, DWT를 적용한 개선된 모델과 DWT를 적용하지 않는 기존 모델의 네 가지 상태에 대한 분류율(EMR)을 식 (3)에 의해 계산하고 샘플의 크기에 따라 그림 2에 나타내었다.

$$\mathrm{EMR}=\#(\text{correct class})/\#(\text{total data}) \qquad (3)$$

샘플의 크기는 256부터 4096으로 2의 지수 승 단위로 정하였고 다른 연구결과와 비교하기 위하여 2560(10초)에 대한 결과도 반영하였다. 결과의 신뢰성을 위하여 MLP 신경망을 통한 랜덤으로 만들어 10000번의 반복을 통하여 평균값을 분류결과로 기록하였다. 그림 2로부터 기본적으로 샘플이 커질 때 분류 결과율이 향상됨을 알 수 있다. 주목할 점은 1024 샘플 미만에서 DWT를 사용하지 않은 EIV를 적용한 분류결과가 우수하고, 1024 샘플을 기점으로부터는

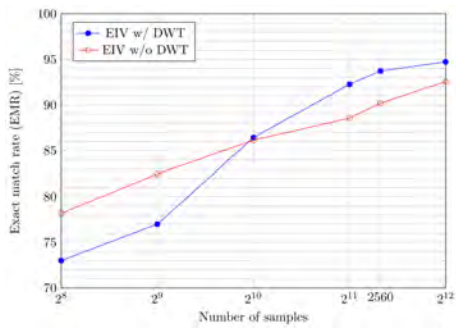

그림 2. 개선된 졸음 감지 시스템의 분류율
Fig. 2. Exact match rate of the proposed scheme.

DWT를 적용한 제안한 방법의 분류율이 우수하다. 이는 DWT를 적용할 때 마다 원 신호를 2로 다운샘플링하여 분해하기 때문에 DWT를 시스템에 적용하려면 어느 크기 이상의 샘플수를 가져야 한다는 것을 말한다. 이 실험을 통하여 그 기준이 되는 샘플 수가 1024가 된다는 것을 알 수 있었고, 샘플수가 2048인 경우에 대해 제안한 시스템은 기존 시스템보다 약 3.6%의 분류율 향상을 보였다.

Ⅴ. 결 론

본 논문은 기존에 제안했던 EIV와 MLP를 이용한 뇌파기반 운전자의 졸음 감지 시스템의 분류 성능을 향상시키기 위하여 전처리 부분에 대표적인 시간-주파수 분석법인 DWT를 적용한 개선된 졸음 운전 감시 시스템을 제안하였다. 운전자의 상태를 기존의 '각성', '천이', '졸음'의 세 가지 상태에 동영상 육안검사로 달리 분류되지 않은 상태인 '기타'를 추가하여 네 가지 상태로 보다 현실적인 상황을 반영하였다. 기존 시스템과의 비교를 통해 분류율이 향상됨을 확인하였다. 이는 원 데이터에서 AR 계수를 추출하는 것보다 DWT를 이용하여 유의성 있는 뇌파의 주파수 대역으로 분해하여 AR 계수를 추출하는 것이 취득한 데이터의 비정상성과 비선형성부분을 감소시켜, 상태 분류율 향상에 기여한다고 말할 수 있다.

References

[1] M. V. M. Yeo, X. Li, K. Shen, and E. P. V. Wilder-Smith, "Can SVM be used for automatic EEG detection of drowsiness during car driving?," *Safety Sci.*, vol. 47, pp. 115-116, 2009.

[2] H. Adeli, S. Ghosh-Dastidar, and N. Dadmehr, "A wavelet-chaos methodology for analysis of EEGs and EEG subbands to detect seizure and epileps," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 54, no. 2, pp. 205-211, 2007.

[3] H. Han and K.-Y. Song, "Electroencephalogram-based driver drowsiness detection system using errors-in-variables(EIV) and multilayer perceptron(MLP)," *J. KICS*, vol. 39, no. 10, pp. 887-895, 2014.

[4] M. Kearns, "A bound on the error of cross validation using the approximation and estimation rates, with consequences for the training-test split," *Advances Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 8, pp. 183-189, 1996.

www.dbpia.co.kr