

## 비접촉식 심전도 신호를 이용한 운전자 졸음 검출 시스템

최민호, 정재진, 김상우  
포항공과대학교

### Drivers' Drowsiness Detection System using the ECG measured by Non Contact Sensors

Minho Choi, Jae Jin Jeong, Sang Woo Kim  
Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

**Abstract** - 본 논문은 비접촉식 센서를 통한 심전도 신호를 이용하여 운전자의 졸음을 검출하는 시스템을 제안한다. 이를 위해 비접촉식으로 얻은 심전도 신호에 적합한 특성들을 추출하였으며 t-test를 이용하여 검출 시스템에서 사용할 특성을 선택하였다. 그 후 추출된 특성으로 구성된 데이터를 support vector machine을 활용하여 학습함으로써 졸음 검출 시스템을 구축하였다. 10명의 실험자를 대상으로 한 실험 결과, 각 실험자에 대해서는 평균 91.25 %, 모든 실험자를 대상으로 한 실험에서는 81.29 %의 정확도로 졸음을 검출하는 것이 가능하였다.

#### 1. 서 론

졸음운전은 운전자의 안전을 위협하는 주요 요소 중 하나이며 실제로 미국에서는 매년 100,000건의 교통사고가 졸음운전으로 인해 발생한다는 통계가 있다 [1]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 졸음운전을 사전에 감지하기 위한 방법들이 연구되어 왔으며 주로 영상처리 기법을 통한 방법들이 제안 되어 있다 [2, 3].

하지만 영상 처리를 기반으로 한 방법은 빛이나 안경의 착용 유무 등 환경의 영향에 민감하며 고성능의 카메라 또는 영상 처리 컴퓨터를 필요로 한다는 단점을 가지고 있다. 이러한 방법에 비하여 높은 정확도와 적은 환경의 영향 그리고 사전 검출이 가능하다는 장점을 가진 생체 신호 기반의 방법들도 제안이 되었으나 생체 신호의 측정을 위해 운전자의 몸에 별도의 장비를 부착하여야 한다는 점이 실용성의 한계로 지적되었다. 하지만 최근 센서 기술의 발달로 심전도를 비접촉식으로 측정할 수 있게 되었고 본 연구에서는 비 접촉식 심전도 센서를 이용하여 실용성과 검출 정확도가 높은 졸음 감지 시스템을 개발하고자 한다.

비접촉식 센서로 측정된 심전도 신호는 기존의 심전도 신호에 비하여 신호의 감도가 낮고 잡음에 영향을 많이 받는다. 따라서 본 시스템은 비접촉식 심전도 신호에 알맞고 잡음에 영향을 덜 받는 특징들을 추출 및 선택하고 support vector machine (SVM)을 이용한 졸음검출을 수행 한다. 실험은 실내에 가상의 운전 환경을 구성하여 수행 되었으며 10명의 실험자를 통한 실험의 결과, 실험자 개개인의 데이터를 사용해서는 평균 91.25 %, 모든 실험자의 데이터를 바탕으로 한 실험에서는 81.29 %의 정확도를 보였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 비접촉식 심전도의 측정

심전도는 심장의 운동에 의해 발생하고 우리 몸의 표면에서 측정가능한 일종의 전압 신호로 연속적인 P-Q-R-S-T 파로 구성 된다 [4]. 심전도는 일반적으로 병원 등에서 접촉식 전극을 사용하여 측정이 되지만 최근에는 비접촉식 센서를 이용한 측정 방식이 제안되어 연구가 되고 있다 [5]. 비접촉식 센서를 이용한 심전도의 측정 및 잡음 제거에 관한 연구는 이전의 선행연구로 진행된 바가 있다 [6].

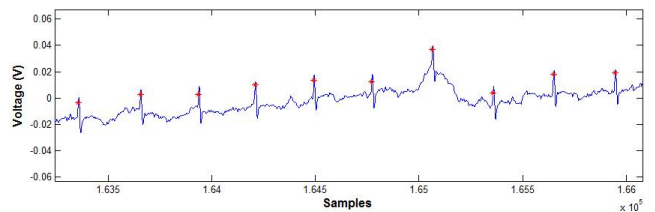
실제로 자동차 주행 중에 심전도를 측정하여 졸음을 검출하는 것은 안전상의 문제가 발생하므로 실내에서 의자에 비접촉식 심전도 측정 시스템을 구현하고 그림 1과 같이 가상으로 구성된 주행 상황에서 각성과 졸음 상태가 모두 측정 될 수 있도록 3시간 동안 심전도를 측정하였다. 또한 운전자의 졸음에 대한 정보를 알기위해 카메라를 설치하여 실험자의 각성과 졸음 상태를 구분하였다.

##### 2.2 비접촉식 심전도에 적합한 특징의 추출 및 선택

그림 2에 나타난 것과 같은 비접촉식으로 측정된 심전도는 기존의 심전도에 비하여 P-Q-R-S-T 파가 뚜렷하게 나타나지 않고 잡음에 매우 민감하게 반응한다. 따라서 비접촉식 심전도를 졸음 검출에 이용하기 위해서는 낮은 신호감도에서도 추출 가능한 특성을 사용하여야 한다. 이를 위해 심전도 신호에서 가장 두드러지게 나타나는 R 파를 기반으로 한 특성들을 표 1과 같이 추출하였다.



〈그림 1〉 비접촉식 심전도 측정 환경



〈그림 2〉 측정된 비접촉식 심전도

〈표 1〉 졸음 검출을 위해 추출된 비접촉식 심전도의 특징들

	특징	특징에 대한 설명
1	mean_RR	RR 간격의 평균
2	std_RR	RR 간격의 표준편차
3	max-min_RR	RR 간격의 최대와 최소의 차이
4	center_fre_RR	RR 변화 주파수 성분 중 0.15 Hz 이상에서 전력이 가장 큰 주파수
5	LF/HF	RR 변화 주파수 성분 중 저주파와 고주파의 비 (저주파: 0.05~0.15 Hz, 고주파: 0.15~0.4 Hz)
6	Mean_R_amp	R파 크기의 평균
7	Std_R_amp	R파 크기의 표준 편차
8	Max-min_R_amp	R파 크기의 최대와 최소의 차이
9	Mean_R_amp_diff	연속적인 R파간 크기 차이에 평균
10	Std_R_amp_diff	연속적인 R파간 크기 차이에 표준편차
11	Mean_RS	R파와 S파간 크기 차이의 평균
12	Std_RS	R파와 S파간 크기 차이의 표준편차
13	Max-min_RS	R파와 S파간 크기 중 최대와 최소의 차이
14	Center_fre_R_amp	R파의 크기와 평균 R파간의 차이에 대한 주파수 성분 중 전력이 가장 큰 주파수
15	norm_f6	정규화된 특징 6
16	norm_f7	정규화된 특징 7
17	norm_f8	정규화된 특징 8
18	norm_f9	정규화된 특징 9
19	norm_10	정규화된 특징 10

19개의 특징들 중에 졸음 검출에 적합한 특징을 가려내기 위하여 t-test를 이용하였다. T-test는 두 집단 간의 통계적인 유사성을 분석하는 기법으로 두 집단에 대하여 t-test를 수행하였을 때 p 값이 작을수록 두 집단이 통계적으로 분리되어 있다고 말할 수 있다. 따라서 각성 상태와 졸음 상태에서 추출한 각 특징들의 t-test가 작은 p 값을 가질수록 그 특징이 각성과 졸음을 잘 구분하는 특징이라고 간주할 수 있다. 특징을 추출하기 위한 신호의 길이를 달리하여 각 특징들에 대하여 t-test를 수행한 결과는 표2와 같다. 이때 추출 시간은 졸음 검출의 특성 상 온라인 검출을 필요로 하므로 이에 알맞게 30초 이내의 짧은 신호 구간을 고려하였다.

**<표 2> 졸음과 각성 상태에 대하여 각 특징별 그리고 추출 시간에 따른 t-test의 p값**

시간 특징	5초	10초	15초	20초	30초
특징 1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
특징 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
특징 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
특징 4	0.445	0.642	0.162	0.746	0.490
특징 5	0.686	0.136	0.121	0.838	0.364
특징 6	0.007	0.001	0.038	0.186	0.567
특징 7	0.049	0.000	0.028	0.887	0.000
특징 8	0.027	0.000	0.063	0.827	0.020
특징 9	0.054	0.000	0.000	0.610	0.000
특징 10	0.000	0.001	0.185	0.621	0.043
특징 11	0.000	0.135	0.321	0.142	0.919
특징 12	0.000	0.850	0.186	0.000	0.051
특징 13	0.000	0.673	0.156	0.000	0.080
특징 14	0.154	0.192	0.391	0.352	0.910
특징 15	0.000	0.000	0.001	0.014	0.014
특징 16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
특징 17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
특징 18	0.000	0.541	0.500	0.689	0.005
특징 19	0.002	0.000	0.203	0.044	0.387

표에서 붉은색 음영으로 처리된 부분은 p값이 0.001 이하의 값으로 해당 특징을 이용하면 졸음과 각성을 구별하는 것이 가능하다고 할 수 있다. 특징 1, 2, 3, 16, 17의 경우, 특징이 추출되는 신호의 길이에 관계없이 p값이 0.001 이하였으며 특징 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 18, 19의 경우에는 특정한 신호 길이에서만 p값이 0.001이하였다. 따라서 특징 1, 2, 3, 16, 17이 졸음 검출을 위한 주요 특성으로 사용 될 가능성이 높다고 할 수 있다. 위의 결과를 바탕으로 모든 구간에서 0.001 이하의 값을 갖지 않은 특징 4, 5, 6, 14를 제외하고 특징 1, 2, 3, 16, 17을 중심으로 그리고 특징 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 18, 19를 일부 조합하여 고차원의 특징 벡터를 구성하였고 이를 통해 졸음 검출 시스템을 구성하고자 하였다.

### 2.3 SVM을 이용한 졸음 검출

SVM은 집단 사이의 margin을 최대화 하는 방향으로 분류 경계를 정하는 기법으로 두 가지 집단을 분류하는 이진분류문제에 있어서 높은 정확도를 갖는다 [7]. 또한 SVM은 분류를 위해 고차원의 특징으로 이루어진 벡터를 사용할 수 있기 때문에 SVM을 해당 시스템에서 이용하고자 하였다.

실험은 우선 그림 1과 같은 유사 주행 상황에서 측정된 비접촉식 심전도 신호를 측정자의 상태에 따라 졸음과 각성 상태일 때의 심전도 신호로 분류하였다. 그 후 각 심전도 신호에서 이용하고자 하는 특징들을 추출하여 특징 벡터를 구성하고, 구성된 데이터의 70%를 SVM을 학습시키는 데에 사용하고 나머지 30%의 데이터를 졸음 검출의 정확도를 확인하기 위한 테스트 데이터로 사용하였다. 실험은 각 특징 벡터에 따라서 50번 반복하여 검출율의 평균을 최종적인 검출율로 산출하였다. 또한 실험은 학습과 졸음 검출 테스트를 동일한 실험자의 데이터로 수행하는 10명의 실험자에 대한 10번의 실험과 모든 실험자의 데이터를 이용하는 실험으로 나누어 수행하였다.

다양한 길이의 신호와 그에 대한 여러 특징들을 표 2의 결과를 참고하여 조합한 후 실험에 사용한 결과, 가장 높은 검출 정확도를 보인 특징들의 조합은 30초의 심전도 신호에서 추출된 특징 1, 2, 3, 7, 9, 16, 17의 조합이었다. 그리고 해당 특징들을 SVM의 입력으로 하여 졸음을 검출한 결과, 동일한 실험자에 대한 실험에서 평균 졸음 검출 정확도는 91.25 % 그리고 모든 실험자의 데이터를 바탕으로 진행된 실험에서는 81.29 %의 정확도를 보였다.

### 3. 결 론

본 논문을 비접촉식 심전도를 활용하여 운전자의 졸음을 검출하는 실용적인 시스템을 제안하였다. 이를 위해 실내에 운전석과 유사한 가상의 주행환경을 구성하고 의자에 비접촉식 심전도 센서를 결합하여 실험자의 심전도를 측정하였다. 그리고 측정된 비접촉식 심전도 센서에 알맞은 특징들을 추출 한 후 t-test를 통해 졸음 검출에 사용할 특징들을 선택하였다. 졸음 검출을 위한 분류기로는 SVM을 사용하여 10명의 실험자를 대상으로 각 실험자의 데이터에 대해서는 평균 91.25 % 그리고 모든 실험자의 데이터를 대상으로는 81.29 %의 졸음 검출 정확도를 달성하였다.

동일한 실험자의 데이터를 사용하였을 때보다 모든 사람의 데이터를 사용하였을 때 정확도가 떨어진 이유는 생체 신호의 특성상 각각의 사람에 따라 심전도의 특징이 조금씩 다르게 나타나기 때문이다. 따라서 졸음 검출의 정확도를 높이고 좀 더 범용성 있는 졸음 검출 시스템을 만들기 위해서 각 개인의 차이를 고려한 시스템을 구성하여야 한다. 또한 본 논문에서 제안된 특징들 이외에 졸음과 각성을 명확하게 구분 지을 수 있는 다른 특징들을 고안하여 사용한다면 더 높은 정확도의 시스템을 구성하는 것이 가능할 것이다.

### [감사의 글]

“본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT명품인재양성사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2015-R0346-15-1007)

### [참 고 문 헌]

- [1] Kusuma Kumari B.M, “A Survey of Drowsy Driving Detection and Prevention”, International Journal of Innovative Research and Studies, Vol. 3, pp. 103 - 111, 2014.
- [2] Arun Sahayadhas, Kenneth Sundaraj, Murugappan Murugappan, “Detecting Driver Drowsiness Based on Sensors: A Review”. Sensors, 12, pp. 16937-16953, 2012.
- [3] Zhang, Z. Zhang, J., “A new real-time eye tracking based on nonlinear unscented Kalman filter for monitoring driver fatigue”. J. Contr. Theor. Appl., 8, 181 - 188, 2010.
- [4] G.S. Wagner, “Marriott’s practical electrocardiography”, William & Wilkins, 1994.
- [5] Steffen Leonhardt, Adrian Aleksandrowicz, “Non-Contact ECG Monitoring for Automotive Application”, Proceedings of the 5th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2008.
- [6] 최민호, 정재진, 이제원, 김상우, “모션 센서와 적응 필터를 이용한 비접촉식 심전도 센서에서의 움직임으로 인한 잡음 제거”, 2014년도 대한전기학회 하계학술대회, 2014.
- [7] Nello Cristianini, John Shawe Taylor, “An introduction to support vector machines and other kernel based learning methods”, Cambridge university press, 2000.