

# Development of Seat-mounted Non-Intrusive ECG Sensing System

Jaegeun Lee, Hosang Oh, Joonwoo Son\*

<sup>1</sup> DGIST HumanLAB, 50-1 Sang-ri, Hyeonpung-Myeon, Dalseong-Gun, Daegu, 711-873, KOREA

## ABSTRACT

**Objective:** The aim of this study is to measure driver's ECG signal non-intrusively using a seat-mounted conductive sensor system. **Background:** Driving workload has been identified as one of the leading causes of traffic accidents and this fact made many research groups to study the driver's workload state monitoring during driving. The workload can be estimated by measuring driver's heart rate. **Method:** The proposed non-intrusive ECG sensor system consists of conductive sensors and amplifier, Bluetooth transmitter, and post signal processing system. The sensors which mounted on a driver seat back, detect the local electric potential, and the sensing data is transmitted to post signal processing system via Bluetooth modules. The transmitted data was sampled and stored digitally on the laptop. The data was filtered through anti-aliasing band-pass filters. For evaluating the accuracy from this system, comparisons between proposed system and commercially available surface electrode based ECG measurement system were conducted. R-R interval and ECG correlation were used for evaluating accuracy. **Conclusion:** This system can be used for measuring ECG signal non-intrusively during driving. **Application:** The use of this system can help to develop systems for monitoring driver's workload in real-time.

Keywords: ECG Measurement System, Physiological signal, Driver seat, Driver's workload, Non-intrusive measurement

## 1. Introduction

운전자의 부하를 고려해 안전 운전을 지원하는 지능형 자동차를 개발하기 위해서는 운전자의 정신적 부하 수준을 정량적으로 파악하는 기술 개발이 필요하다. 즉, 지능형 자동차가 운전자의 상태를 고려해 안전 운전에 필요한 주행 정보(예: 운전자의 정신적 부하 수준이 과도할 경우 운전자의 인포테인먼트 조작 범위 제한)를 적시에 제공해주는 운전자 친화적 인터페이스가 필요하다. (Son, 2011). 지능형 자동차가 운전자의 정신적 부하 수준을 파악해 맞춤형 주행 정보를 제공하기 위해서는 운전 부하 수준을 과학적으로 측정하고 분석하는 기술 개발이 선행되어야 한다.

운전자의 정신적 부하 수준은 심전도 (electrocardiography, ECG) 측정치를 이용해 계산되는 심박 수(heart rate, HR)와 심박 주기의 변동(heart rate variability, HRV)을 분석하여 파악될 수 있다. 심박수는

정신적 부하 수준이 높아질수록 유의하여 증가하게 된다 (Son et al., 2011). 예를 들면, Brookhuis and waard (2001)는 일반도로보다 교통이 복잡한 회전형 교차로 진입 및 진출 시 심박수는 유의하게 증가하는 것으로 보고하였다. 반면, 심박 주기의 변동은 정신적 부하가 증가하면 유의하게 감소하게 된다(Berntson et al., 1997). 예를 들면, Wood et al. (2002)은 인지 신호가 제시되면 응답하는 단순 작업이 심박 주기의 변동을 유의하게 감소시키는 것으로 보고하였다.

이와 같이 운전자의 정신적 부하 수준을 측정하여 맞춤형 주행정보를 제공하는 지능형 자동차의 개발을 위해서는 운전자 정신적 부하 측정을 위한 ECG 생체신호 수집이 필요하다. 일반적으로 ECG 생체신호의 수집은 피부에 전극을 부착하여 측정하고 있지만 무자각으로 심박수를 측정한다면 차량운행 시 운전자의 정신적, 신체적 구속 없이 운행 중인 운전자의 정신적 부하 수준을 실시간으로 파악할 수 있다.

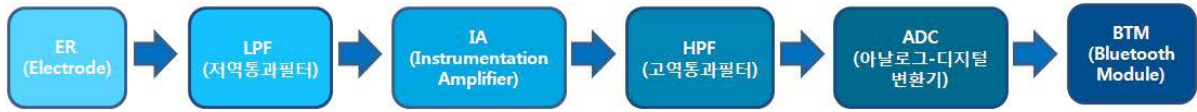


Figure 1. Block diagram of Non-Intrusive ECG Sensing system

본 연구에서 제안하는 시스템은 운전자가 차량 운전석에 앉아 운전하는 동안 심박수를 측정할 수 있는 시스템으로 운전자에게 정신적, 신체적 구속 없이 ECG 생체신호를 측정할 수 있다. 운전석 등받이 부분에 두 전극 신호와 시트부분에 접지신호(Ground)가 연결되어 운전석에 앉아 있는 운전자의 ECG 생체 신호를 실시간으로 측정한다. 본 ECG 생체 신호는 운전자의 정신적 부하 수준을 판별하기 위한 정량화 척도 중 하나로 사용될 수 있다. 특히, 제안하는 Non-Intrusive ECG 시스템은 핸들부착형 ECG센서와 달리 데이터의 연속성을 보장할 수 있고, 운전자의 좌석에서 무구속, 무자각으로 ECG 생체신호를 측정하여 지능형 자동차에 직접 적용될 수 있는 시스템이다. 본 논문에서는 일반 차량 좌석에 설치된 Non-Intrusive ECG Sensing 시스템에서 측정되는 ECG 생체 신호의 정확성을 검증하기 위하여 ECG 생체 신호 측정에 널리 사용되고 있는 부착형 전극 장비인 MEDAC System/3 unit (NeuroDyne Medical Corp., Cambridge, MA)을 통해 동일한 환경과 시간에 운전자의 ECG 생체 신호를 측정하여 분석하였다. ECG 생체 신호의 분석에는 다양한 정량화 척도 중 심박 신호 주기(Inter Beat Interval, IBI) 분석을 통해 ECG의 두 신호의 상관관계를 확인하여 시스템의 적용가능성을 입증하고자 한다.

## 2. Method

Non-Intrusive ECG Sensing System의 구성은 Figure 1와 같이 전극, 아날로그 필터회로, 증폭회로, 블루투스 모듈 등으로 기존의 ECG 측정 시스템과 유사하게 구성되어 있다. 그러나, 기존의 피부에 직접 부착하여 측정하는 전도성 방식이 아닌 운전자가 일상적인 복장으로 운전석에 착석할 경우에도 측정이 가능한 용량성(capacitive) 방식을 사용하였다(Lim et al., 2004). 운전자 등받이 좌석에 부착된 2개의 전극과 시트에 장착된 그라운드를 통하여 운전자에게 의해 발생하는 미세한 전위 신호가 입력되면 저역 통과필터(Low Pass Filter, LPF)를 통과하면서 노이즈가 제거 되고, 증폭기(Instrumentation Amplifier, IA)에

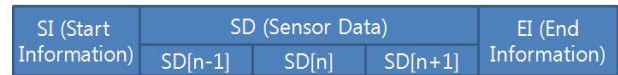


Figure 2. Bluetooth data packet

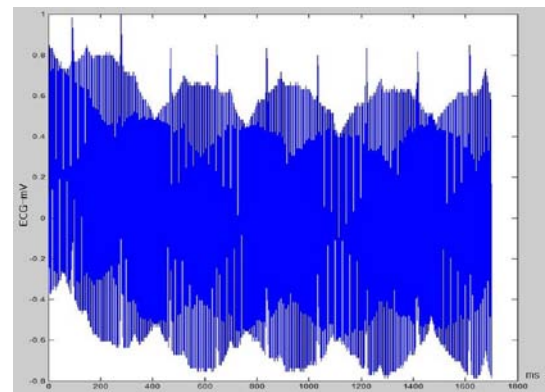


Figure 3. Collected ECG Signal

의해 미세한 신호가 증폭된다. 증폭된 신호는 고역 통과필터(High Pass Filter, HPF)와 아날로그-디지털 변환기(Analogue to Digital Converter, ADC)를 거치면서 디지털신호(10bit)로 변환되는데 이 신호를 RS232 통신으로 연결된 Bluetooth Module에 전송하여, 또 다른 Bluetooth Module이 연결된 PC로 전송되게 된다. Bluetooth Module은 Figure 2와 같이 n 시간을 기준으로 [n-1], [n+1] 시간의 ECG 정보를 하나의 데이터 패킷으로 구성하여 PC에 연결된 또 다른 Bluetooth로 전송한다. 전송된 패킷은 PC를 통해 240Hz Sampling된 운전자의 ECG 생체 신호를 Figure 3과 같이 실시간으로 수집 및 출력한다.

수집된 ECG 데이터로부터 심박수 data와 심박 주기의 변동 분석을 통하여 운전 시 운전자의 정신적 부하 수준을 파악한다. 이는 수집된 ECG 신호인 R-wave를 통해서 분석 가능한데 운전자의 생리적 변화와 그 외 여러 잡음으로 인한 noise를 제거하기 위하여 8~25 Hz의 bandwidth filtering 후 정확한 R-wave를 Figure 4와 같이 확인하였다.

본 연구는 실험 참여자 1명(연령: 28세)을 통하여 Figure 5와 같이 시뮬레이터 차량에 장착된 Non-Intrusive ECG Sensing system과 부착형 ECG 생체 신

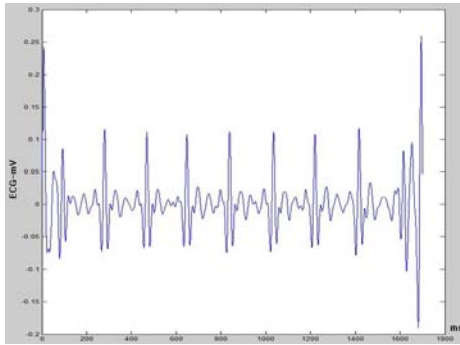


Figure 4. Filtered ECG Signal

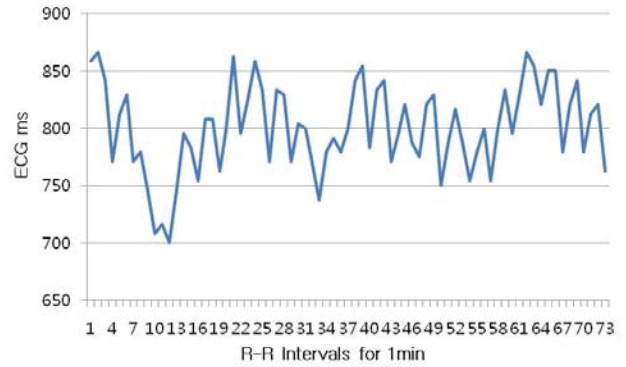


Figure 5. Non-Intrusive ECG Sensing System

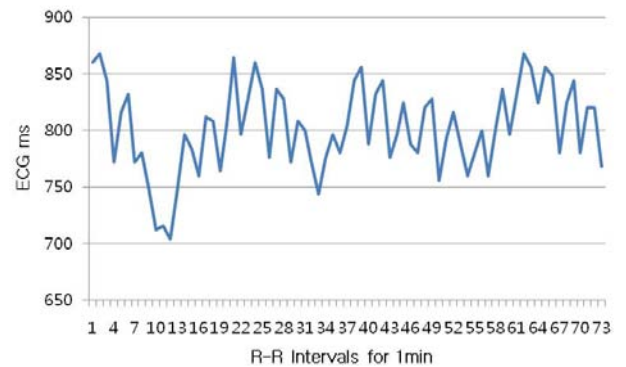
호 측정장비인 MEDAC 시스템으로 1분간 ECG data 를 sampling 하였다. ECG data 를 정량화 하기 위해 Sampling 된 ECG data 의 R-peak 를 구하여 R-peak 간격인 IBI 로 정량화 하였다. Pearson 상관계수를 이용하여 정량화된 두 신호의 data 를 상관관계로 Non-Intrusive ECG Sensing system 의 적용 가능성을 입증한다.

### 3. Results

본 연구에서 획득한 실험 참여자의 ECG 생체 신호의 후처리는 Matlab 을 활용하였으며, ECG 생체 신호의 R wave 의 peak 사이 시간을 찾기 위해 peak-finding 알고리즘을 사용하였다(Lee et al., 2004). MEDAC 시스템과 Non-Intrusive ECG Sensing System 에서 측정된 1분 동안의 ECG 생체 신호의 R-peak Interval 을 구하면 73개의 심박 구간이 나온다. 여기서 ECG 생체 신호 분석의 정량화 척도인 IBI 를 계산하여 Figure 6 과 같은 거의 비슷한 형태의 그래프가 출력됨을 확인하였다. IBI 를 활용하여



(a)



(b)

Figure 6. R-R Intervals of (a)MADAC and (b)Non-Intrusive ECG Sensing System

MEDAC 시스템과 Non-Intrusive ECG Sensing System 에서 측정된 1분간의 R-R Interval 의 평균은 MEDAC 시스템에서 800ms, Non-Intrusive ECG Sensing System 에서 802ms 로 나타났다. 두 시스템 의 R-R Interval 의 최대 오차는 7.5 ms 이며, 평균 오차는 2.13ms 로 나타났다. Pearson 상관계수는 0.998 로 매우 높은 값 가짐을 확인하였다( $p < 0.01$ ).

### 4. Conclusion

본 연구를 통하여 운전자가 평상시 일상적인 복장으로 운전을 할 때 운전자의 좌석 등받이에 설치된 두 전극과 시트에 설치된 그라운드를 통하여 운전 전에 방해되지 않도록 ECG 생체 신호를 실시간으로 수집하는 무구속 무자각의 Non-Intrusive ECG Sensing System 을 개발하였다. 본 연구에서는 실험 참여자 1명의 ECG 생체 신호 data를 사용하여 IBI

척도를 활용하여 pearson 상관관계로 적용가능성을 입증하였다.

본 연구에서 수집한 ECG 생체 신호는 심박 수 (HR), 심박 주기의 변동(HRV)를 확인 하는데 사용될 수 있으며, 향후 추가적인 실험 참여자를 통하여 제안하는 Non-Intrusive ECG Sensing System 으로 ECG 생체 신호를 수집하여 일반적으로 ECG 생체 신호 측정에 사용되는 부착형 시스템과 같은 높은 신뢰성을 가지는 시스템을 확인하고자 한다. 또한, 본 연구의 시스템은 지능형 자동차 개발에 운전자 정신적 부하 수준을 파악하여 맞춤형 주행 정보를 제공하기 위해 운전 부하 수준을 수치적으로 실시간 측정할 수 있는 하나의 시스템이 될 수 있음을 확인한다.

## Acknowledgements

This was supported in part by Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST), Research Program of the Ministry of Education Science and Technology (MEST) and Green Drive Research Program of the Ministry of Knowledge Economy (MKE).

## References

- Berntson, G. G., Bigger Jr, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H., and Van Der Molen., M. W. (1997). Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34, 623-648.
- Brookhuis, K. A., and De Waard, D. (2001). Assessment of drivers' workload: performance, subjective and physiological indices. In Hancock, P. and Desmond P. (Eds.). *Stress, workload and fatigue: theory, research and practice* (pp. 321-333). New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Jaime M. Lee, Frederick Pearce, Andrew D. Hibbs, Robert Matthews, and Craig Morrisette, "Evaluation of a Capacitively-Coupled, Non-Contact (through Clothing) Electrode or ECG Monitoring and Life Signs Detection for the Objective Force Warfighter", *RTO HFM Symposium*, Aug. 2004
- J. Son, M. Park, "Estimating Cognitive Load Complexity Using Performance and Physiological Data in a Driving Simulator", *Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, November 30, 2011.
- W. Hong, W. Lee, B. Lee, S. Park, Y. Park, J. Son, S. Park, and H. You, "Development of an Evaluation Method for a Driver's Cognitive Workload Using ECG Signal", *Ergonomics Society of Korea*, October 21, 2011 (in Korean).
- Wood, R., Maraj, B., Lee, C. M., and Reyes, R. (2002). Short-term heart rate variability during a cognitive challenge in young and older adults. *Age and Aging*, 31, 131-135.
- Y. Lim, K. Kim, K. Park, "The Electrically Non-Contacting ECG Measurement in Daily Life," *U-Healthcare*, Oct. 2004
- Zynex NeuroDiagnostics Home page, [http:// www.zynexneuro.com](http://www.zynexneuro.com) (October 19, 2012), Hardware.

## Author listings

**Jaegum Lee:** jlee83@dgist.ac.kr

**Highest degree:** MS, Electronic Engineering, Kyungpook University

**Position title:** Researcher, HumanLAB, DGIST

**Areas of interest:** Programming the communication of vehicle and data acquisition equipments.

**Hosang Oh:** ohs2384@dgist.ac.kr

**Highest degree:** MS, Biomedical Engineering, Konkuk University

**Position title:** Researcher, HumanLAB, DGIST

**Areas of interest:** Designing for older drivers, Driver's workload assessment,

**Joonwoo Son:** json@dgist.ac.kr

**Highest degree:** PhD, Mechanical Engineering, Pusan National University

**Position title:** Project Leader, HumanLAB, DGIST

**Areas of interest:** Designing for older drivers, Driver's workload assessment (On-Road & Simulator), Safety assessment for Human-Vehicle Interface