
실시간 지능형 운전자 건강 및 주의 모니터링 시스템

신홍섭* · 정상중* · 서용수** · 정완영***

Real-time Intelligent Health and Attention Monitoring System for Car Driver

Heung-Sub Shin* · Sang-Joong Jung* · Yong-Su Seo** · Wan-Young Chung***

본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권
선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다. (2009 - C01)

요 약

최근 운전자의 건강상태 모니터링 및 졸음운전 방지를 위한 자동차용 부품관련 센서개발 및 시스템 연구들이 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 본 논문은 이러한 운전자의 건강 상태 및 졸음운전을 점검하기 위해 체스트벨트 심전도 (ECG)와 손목착용형 산소포화도 (SpO2) 센서를 제작하여 생체신호를 측정하였으며, 측정된 심전도, 산소포화도, 그리고 심장박동수 신호는 무선센서네트워크를 통해 수집, 전송 및 모니터링 등의 처리를 가능하게 하여 운전자에게 안전운행을 위한 정보를 제공하도록 하였다. 원격지인 서버 PC와 연결된 베이스스테이션으로 수집된 심전도와 용적맥파 신호에서 HRV (Heart Rate Variability, 심박변이도) 신호를 검출하였으며, 검출된 HRV 신호를 시간 영역과 주파수 영역에서의 해석을 통하여 운전자의 스트레스 지수 및 졸음 상태의 실시간 모니터링 및 졸음 상태의 운전자에게 주의를 제공하기 위하여 알람을 제공하는 형태의 지능형 모니터링 시스템을 구현하였다.

ABSTRACT

Recently, researches related with automotive mechanism have been widely studied to increase the driver's safety by continuously monitoring the driver's health condition to prevent driver's drowsiness. This paper describes the design of wearable chest belt for ECG and reflectance pulse oximetry for SpO2 sensors based on wireless sensor network to monitor the driver's healthcare status. ECG, SpO2 and heart rate signals can be transmitted via wireless sensor node to base station connected to the server. Intelligent monitoring system is designed at the server to analyze the SpO2 and ECG signals. HRV (Heart Rate Variability) signals can be obtained by processing the ECG and PPG signals. HRV signals are further analyzed based on time and frequency domain to determine the driver's drowsiness status.

키워드

졸음운전, HRV, 스트레스 지수, 지능형 모니터링 시스템

Key word

Drowsiness Driving, HRV, Driver's Stress, Intelligent Monitoring System

* 부경대학교 대학원 전자공학과

** 동서대학교 전자공학과

*** 부경대학교 전자공학과 (교신저자, wychung@pknu.ac.kr)

접수일자 : 2010. 01. 04

심사완료일자 : 2010. 03. 22

I. 서 론

최근, 운전자의 부주의에 의한 교통사고의 증가는 사회적으로 매우 심각한 문제가 되어 오고 있으며, 특히 최근 교통사고의 통계자료를 보면 교통사고의 원인은 졸음운전이 상당부분 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 한국도로공사의 통계에 따르면 지난 3년간 고속도로의 교통사고는 전체 9,180건으로 그중 23%인 2,092건이 집계되었다. 유럽의 통계치에 따르면 모든 교통사고의 10~20%가 운전자 피로에 의한 부주의로 인한 것임을 알 수 있다. 또한, U.S. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)에 따르면, 해마다 적어도 100,000회의 자동차 사고가 졸음운전에 의해 일어난다 [1]. 이에 전 세계 자동차 업체는 세계 자동차 시장에서의 기능 및 품질 향상, 가격 경쟁력 강화와 함께 심화되는 교통사고에 따른 사회적 비용 감소를 위한 차량 안전에 대한 규제, 사용자의 편리성에 대한 요구 증대 및 각국의 환경규제에 따라 지능형·친환경적인 자동차에 대한 관심이 늘어나고 있으며, 특히 안전·편의 분야의 운전자 졸음방지를 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

졸음감지의 방법론적 기술은 영상처리기술 (Image Processing Technology)와 인체생리신호감지기술 (Physiological Signal Detection Techniques)이 있다 [2]. 영상처리기술은 운전자의 눈꺼풀의 움직임, 눈의 응시

방향, 끄덕거림 등을 감지하여, 영상을 분석하는 방법이다. 이 방법은 정확도가 낮고 운전자 환경에 많은 영향을 받는 단점이 있다. 그러나 인체생리신호감지기술은 운전자의 바이오신호인 뇌파, 전기안구도, 심전도 등의 변화를 측정하여 분석하는 것이다. 운전자의 졸음은 뇌와 심장의 활동에 대한 연관성이 높으므로, 이를 통한 분석이 졸음여부를 판단하는데 상당히 정확한 결과를 줄 수 있다. 이 방법은 생체신호의 감지가 운전자의 머리, 얼굴이나 가슴에 부착된 전극센서에 의해 측정되어야 하는 단점이 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 미래 산업의 핵심 역량 기술 중 하나로 각광받고 있는 유비쿼터스 헬스케어의 핵심 기술인 웨어러블 센서 (심전도, 산소포화도, 가속도, 혈압, 혈당 등)를 이용하여 사용자의 피로도와 졸음과의 연관성에 관한 연구들이 진행되고 있다 [3-4].

본 논문에서는 생체신호 측정을 위해 웨어러블 센서를 이용하여 운전자의 건강 상태와 졸음 상태를 모니터링할 수 있는 시스템을 제안하였다. 특히, 심전도 측정을 위한 체스트벨트와 손목착용형 산소포화도 센서를 제작하여 측정하였으며, 측정된 심전도, 산소포화도, 그리고 심장박동수를 수집, 전송, 생체신호 분석 및 모니터링 등의 처리를 통해 운전자에게 건강상태와 졸음운전 시 운전자에게 주의를 제공하기 위한 지능형 모니터링 시스템을 구현하였다.

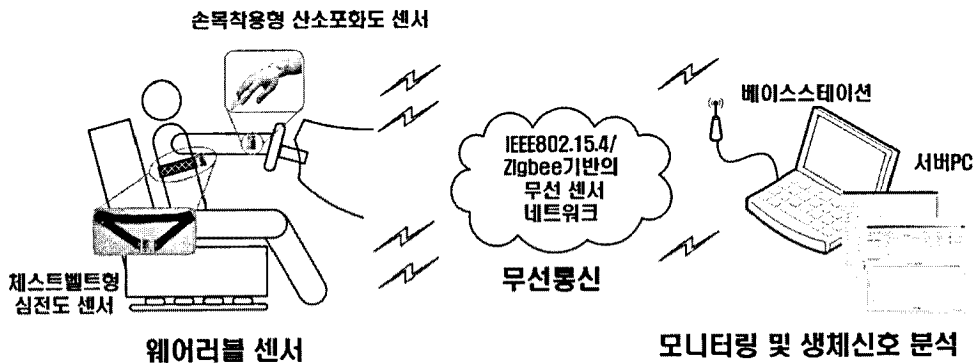


그림 1. 운전자 건강 및 주의 모니터링 시스템 구성도.
Fig. 1 Architecture of Health and Attention Monitoring System for Car Driver.

II. 운전자 건강 및 주의 시스템

본 논문에서 제안하는 실시간 지능형 운전자 건강 및 주의 모니터링 시스템은 그림 1과 같이 크게 3부분으로 구성된다. 체스트벨트 및 손목착용형 산소포화도 센서를 통해 생체신호를 측정할 수 있는 웨어러블 측정 부분, 생체신호 수집 및 무선전송을 위한 무선센서네트워크 부분, 그리고 생체신호분석을 통한 졸음 및 스트레스를 확인하여 운전자에게 알람 및 주의를 제공할 수 있는 모니터링 부분으로 구성된다.

2.1 하드웨어 구성

그림 2는 운전자 건강 및 주의 모니터링 시스템에서 사용되는 웨어러블 센서와 무선센서노드의 블록 다이어그램 보여주고 있다. 웨어러블 센서로서 체스트벨트형 심전도 센서와 손목착용형 산소포화도 센서를 사용하며, 무선통신을 담당하는 무선센서노드와 함께 사용하도록 설계하였다.

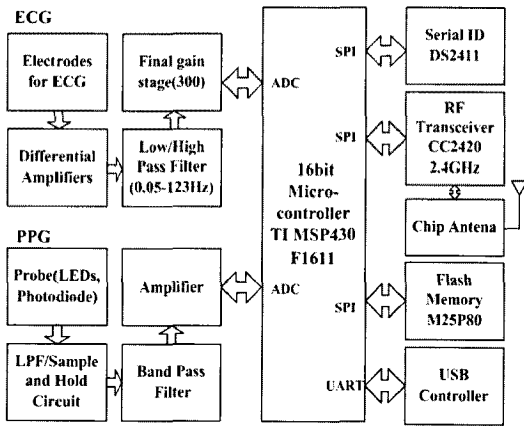


그림 2. 하드웨어 블록 다이어그램.
Fig. 2 Block diagram of Hardware.

심전도 신호를 측정하기 위하여 체스트벨트형 심전도 센서를 설계 및 구현하였고, 심전도 신호는 체스트벨트에 부착된 2개 전극으로부터 소신호를 유도함으로써 얻을 수 있으며, 유도된 2개의 신호의 전위차를 차동 증폭하고, 노이즈 제거를 위해 저/고대역 통과 필터를 이용하여 필터링함으로써 측정이 가능하다. 이를 위해

심전도 신호의 차단주파수는 0.05 - 123 Hz 대역으로 설계하였고, 전체이득은 300 (24.8 dB) 배의 특징을 갖도록 하였다.

손목착용형 산소포화도 센서는 산소포화도 측정의 기본 원리에 따라 2개의 LED (Red - 660 nm, Infrared - 940 nm)와 포토다이오드로 구성되어 있으며, 손목착용형 산소포화도 센서의 회로구성은 포토다이오드로부터 수신된 신호의 노이즈 제거를 위한 저대역통과 및 대역통과 필터, 신호의 증폭 등의 아날로그 신호를 위한 회로 부분으로 구성하였다. 수집된 데이터의 전송은 RS-232 시리얼 통신을 사용하여 무선센서노드의 마이크로컨트롤러 UART 포트를 통하여 측정된 데이터가 수집된다. 수집된 데이터는 1초에 5바이트씩 75번의 데이터를 구성하여 서버와 연결된 베이스 스테이션으로 전송하도록 하였다.

표 1. 하드웨어 특징
Table. 1 Hardware Specifications

무선센서노드	
MCU	MSP430F1611
RF Transceiver	CC22420
Multi-Channel Radio	2.4 GHz
RF Range	≈ 100 m
Internal Memory	10 KB RAM, 48 KB Flash
External Memory	128 KB
Data Rate	250 Kbps
Interface	USB
Size	40 mm × 40 mm × 2 mm
Power	2.7 - 5.5 V (3.3 V구동)
체스트벨트형 심전도 센서	
Cut-off Frequency	0.05 - 123 Hz
Gain	300 (24.8 dB)
손목착용형 맥파센서	
LED Driving Cycle	8 ms (4 ms 교대)
Cut-off Frequency	24 Hz(LPF), 0.5 - 10 Hz(BPF)

체스트벨트형 심전도 센서와 손목착용형 산소포화도 센서는 확장 커넥터를 통해 무선통신을 담당하는 무선센서노드와 연동이 가능하도록 설계하였으며, 하드웨어의 특징을 표 1에 나타내었다.

무선센서노드는 동작전압이 2.7 - 5.5 V인 웨어러블 센서에 3.3 V의 전원을 공급하고, 웨어러블 센서를 통해 측정된 신호를 A/D변환, 신호처리 및 데이터의 무선통신을 위해 제작하였다 [5].

2.2 무선센서네트워크의 구성

운전자로부터 측정된 생체신호는 TinyOS [6] 기반의 무선센서네트워크 환경을 구현하여 베이스스테이션에서 수집 및 처리되도록 하였다. TinyOS는 nesC 언어를 사용하는 모듈별 컴포넌트에 의한 응용프로그램으로서 다중 생체신호의 샘플링, 생체신호의 무선 송·수신 기능을 담당할 TinyOS 컴포넌트들을 그림 3과 같이 설계하였으며, UiquitousHealthcare, GenericComm, EcgC, SpO2, LeccsC, TimerC로 구성하였다. 각각의 컴포넌트들이 가지고 있는 입출력 인터페이스들을 다른 컴포넌트들과 상호 제공하고, 사용하도록 되어있다. 생체신호는 GenericComm컴포넌트를 통해 베이스스테이션으로 무선전송이 가능하도록 하였다.

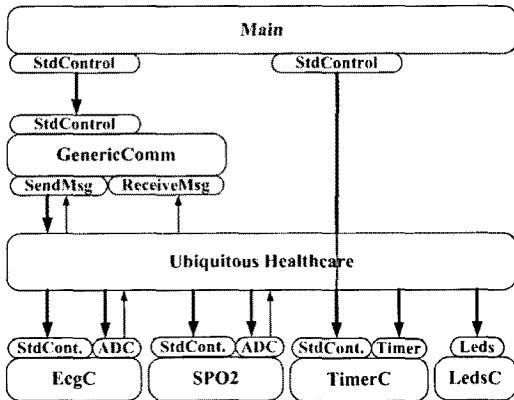


그림 3. TinyOS기반의 어플리케이션 응용.
Fig. 3 Application based on TinyOS.

2.3 심박변위도 (HRV) 검출 및 분석

자동차 내에 구축된 무선센서네트워크 환경에 의해 운전자로부터 측정된 심전도와 용적맥파 신호에서 HRV 신호를 검출하고자 한다. HRV 신호는 측정이용이하고 교감신경과 부교감신경의 영향을 받기 때문에 많은 정신신체질환과 스트레스성 질환에 관여하는 자율신경계의 정량적 지표로서 사용된다. HRV 신호는 박동

과 박동사이의 변화 추이를 정량화 한 것으로, HRV 신호를 이용하여 스트레스를 분석하는 방법에는 그림 4와 같이 주파수 영역에서 스펙트럼의 크기와 분포를 관찰하는 분석방법과 시간영역에서 피크치 간격의 분산과 평균 등을 이용하여 분석하는 방법이 있다. 본 논문에서는 HRV 신호를 시간 및 주파수 영역에서의 분석을 통해 운전자의 건강상태 및 졸음상태를 판단할 수 있도록 구현하였다.

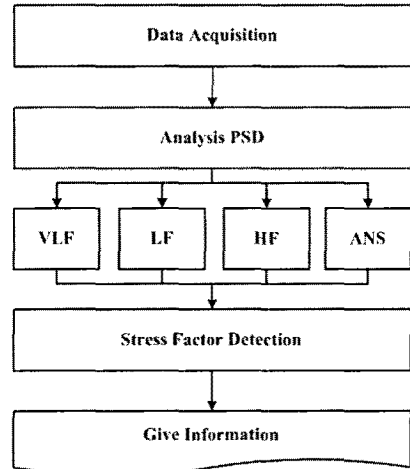


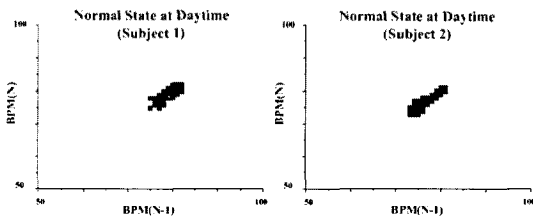
그림 4. HRV 신호 검출과정.
Fig. 4 Flowchart for HRV Signal Analysis.

III. 실험 및 결과

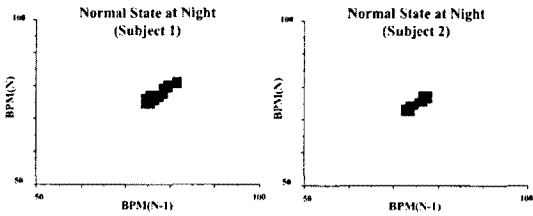
그림 5는 제안된 시스템을 위해 고안된 실험 환경을 보여주고 있다. 생체신호의 측정 및 RF 무선통신을 담당하는 웨어러블 센서이며, 각각의 모듈은 무선센서노드에 부착하여 사용된다.



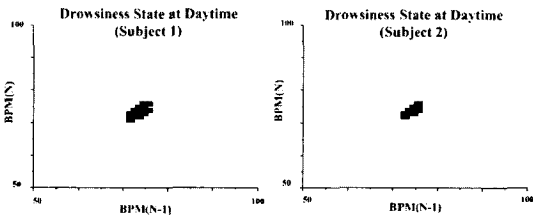
그림 5. 실제 실험 환경.
Fig. 5 Environment of Physical Experimentation.



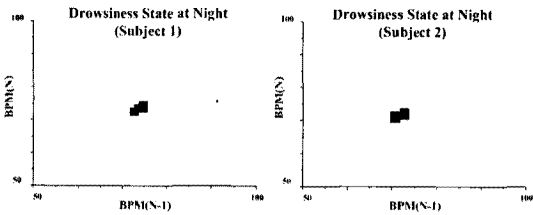
(a)



(b)

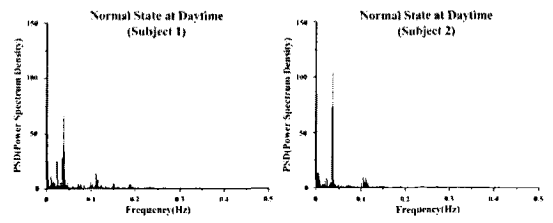


(c)

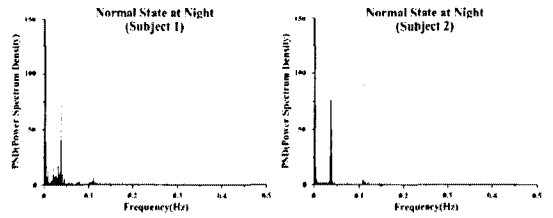


(d)

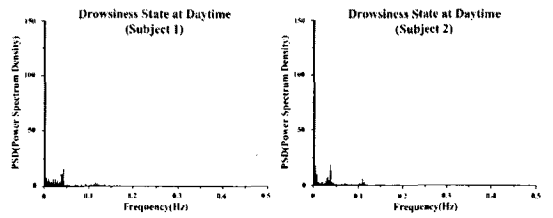
그림 6. 정상 및 졸음상태에서의 심박분포도 비교.
 (a) 낮 시간 정상상태 실험자 1 & 2 비교, (b) 밤 시간 정상상태 실험자 1 & 2 비교, (c) 낮 시간 졸음상태 실험자 1 & 2 비교, (d) 밤 시간 졸음상태 실험자 1 & 2 비교.
 Fig. 6 Comparison of HR Distribution in Normal and Drowsiness State. (a) Comparison of Normal State HR Distribution at Daytime. (b) Comparison of Normal State HR Distribution at Night. (c) Comparison of Drowsiness State HR Distribution at Daytime. (d) Comparison of Drowsiness State HR Distribution at Night.



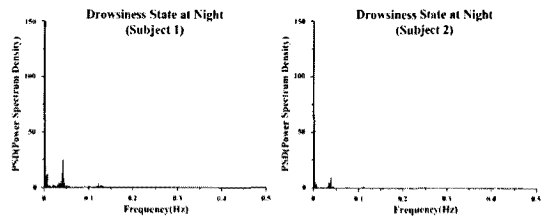
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7. 정상 및 졸음상태에서의 전력스펙트럼 밀도 비교. (a) 낮 시간 정상상태 실험자 1 & 2 비교, (b) 밤 시간 정상상태 실험자 1 & 2 비교, (c) 낮 시간 졸음상태 실험자 1 & 2 비교, (d) 밤 시간 졸음상태 실험자 1 & 2 비교.
 Fig. 7 Comparison of Power Spectrum Density in Normal and Drowsiness State. (a) Comparison of Normal State Power Spectrum Density at Daytime. (b) Comparison of Normal State Power Spectrum Density at Night. (c) Comparison of Drowsiness State Power Spectrum Density at Daytime. (d) Comparison of Drowsiness State Power Spectrum Density at Night.

표 2. 정상상태 및 졸음상태 판별을 위한 측정된 생체신호의 평균 데이터
Table. 2 Mean Physiological Data for Evaluation of Normal and Drowsiness State

Subject	State	HR(회)	HRV(sec)	LF/HF	VLF/LF	VLF/HF
실험자 1	정상 낮	79.2 ± 1.47	0.75 ± 0.014	5.44	6.24	34.00
	정상 밤	77.1 ± 1.97	0.77 ± 0.019	5.94	6.53	38.75
	졸음 낮	73.1 ± 1.10	0.82 ± 0.012	7.00	3.44	24.09
	졸음 밤	73.3 ± 0.88	0.81 ± 0.009	10.29	2.15	22.14
실험자 2	정상 낮	77.4 ± 2.07	0.78 ± 0.021	5.45	6.39	34.85
	정상 밤	75.1 ± 1.39	0.79 ± 0.015	5.08	6.22	31.62
	졸음 낮	74.9 ± 0.98	0.80 ± 0.011	6.78	4.30	29.11
	졸음 밤	72.0 ± 0.92	0.83 ± 0.011	8.20	2.88	23.62
실험자 1 & 2	정상상태	77.2 ± 1.45	0.77 ± 0.015	5.48 ± 0.31	6.35 ± 0.13	34.81 ± 2.57
	졸음상태	73.3 ± 1.04	0.82 ± 0.012	8.07 ± 1.61	3.19 ± 0.79	24.74 ± 2.62

운전자의 신체에 부착된 웨어러블 센서로부터 측정된 신호를 베이스스테이션에서 수집하고, 생체신호로부터 HRV 신호를 검출하였다. 검출된 HRV 신호를 시간 및 주파수 영역에서의 해석을 통해 스트레스 지수 및 자율신경에 대한 임상적인 판단이 가능하도록 하였다. 또한, 운전자의 졸음판단을 위해 시간영역에서의 해석을 통한 심박분포도 (HR Distribution)로 나타내어 관찰하고자 하였다. 실험은 본 논문의 2명의 저자를 대상으로 이루어졌으며, 정상상태와 졸음상태를 주·야간상황으로 나누어 3차례씩 약 2분간의 데이터를 획득하여 평균하였다. 그 결과 그림 6과 같이 정상 상태일 때의 심박분포도는 심박의 분포가 넓고 고르게 분포하는 것을 알 수 있다. 이는 자율신경계의 교감신경과 부교감신경의 적절한 활동을 반증한다. 반면 졸음상태일 때의 심박분포도는 낮은 수치에서 집중적으로 나타내며 이는 심박변위가 작고 부교감신경의 활성도가 높아지기 때문이다 [7].

졸음판단에 대한 데이터의 신뢰성을 높이기 위하여 그림 7과 같이 주파수 영역에서의 전력스펙트럼 밀도 (Power Spectrum Density, PSD)를 통한 분석을 실시하였다. 실험은 시간영역에서의 해석과 동일하게 이루어졌으며, 더 정확한 수치적인 분석을 위해 측정된 생체신호의 평균데이터와 표준편차를 표 2에 나타내었다. 그림 7

과 표 2에서 보는 바와 같이 각각의 주파수 대역에서의 확인된 전력스펙트럼 밀도 값들의 비교를 통해 정상상태와 졸음상태를 확연히 구분하였다. 먼저 HRV 신호는 정상상태의 경우 졸음 상태보다 높은 심박수를 나타내고 HRV 신호는 상대적으로 낮아져 파형간의 간격이 좁아지는 것을 나타낸다. 또한 VLF (0.003 - 0.04 Hz) 영역에서 정상 상태의 평균 PSD 값은 5.85인데 반해 졸음상태일 때의 경우 2를 나타내어 졸음 상태에서의 PSD 값은 정상상태에 비해 작은 값을 가지는 것을 확인하였다. 이와 마찬가지로 LF (0.05 - 0.15 Hz)와 HF (0.15 - 0.45 Hz) 영역의 경우 정상상태일 때의 PSD는 각각 0.92, 0.17인데 반해 졸음상태일 때의 경우 각각 0.63, 0.008로 그 값이 작은 것을 확인하였다. 각각의 주파수 영역의 PSD 비교를 통해 운전자의 상태에 따라 VLF 영역에서 값의 변화가 상대적으로 가장 큰 것을 알 수 있다.

일반적인 주파수 영역에서의 HRV 신호 분석은 대체로 LF/HF 값을 사용하여 판단하게 되는데 [8], 본 논문에서는 운전자의 상태에 따라 변화가 가장 큰 VLF 영역을 이용하여 VLF/LF와 VLF/HF 값들을 표 2와 같이 비교하였다. 졸음상태에서 VLF/LF와 VLF/HF 값들이 상대적으로 낮게 검출되는 것을 확인하였고, VLF/LF와 VLF/HF 값의 결과를 이용하여 정상상태와 졸음상태의 판단을 가능하게 하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 유비쿼터스 헬스케어 응용분야인 운전자 건강 및 주의 모니터링 시스템을 위해 체스트벨트와 손목착용형 산소포화도 센서를 제작 및 설계하여 실제 측정 및 모니터링이 실시되었다. 측정된 생체 데이터는 자동차 내부에 구축된 무선센서네트워크 환경을 통해 실시간 모니터링을 가능하게 하여 운전자의 스트레스 및 졸음에 대한 정보를 제공하였다. 웨어러블 센서에서 측정된 심전도 및 산소포화도 데이터를 이용하여 HRV 신호를 검출하였으며, 검출된 HRV 신호의 시간영역과 주파수영역에서의 분석을 통하여 운전자의 건강상태 및 졸음상태를 실험을 통해 판단하였다. 제안된 운전자 건강 및 주의 모니터링 시스템을 통해 생체신호를 이용한 운전자 감시를 가능하게 하였으며, 본 연구를 기반으로 보다 더 정확하고 신뢰성이 높은 운전자 감시 모니터링 시스템이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

[1] L.M. Bergasa, J. Nuevo, M.A. Sotelo, R. Barea , M.E. Lopez, "Real-Time System for Monitoring Driver Vigilance", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol 7, no. 1, pp. 63-77, March 2006.

[2] Xun Yu, "Real-time Nonintrusive Detection of Driver Drowsiness", *Intelligent Transportation Systems Institute*, CTS Project #2008017, May 2009.

[3] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, 2002.

[4] Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology, "Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use", *Circulation*, vol. 93, pp. 1043-1065, 1996.

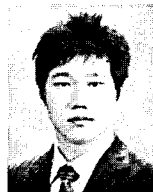
[5] Young-Dong Lee, Sang-Joong Jung, Yong-Su Seo, Wan-Young Chung, "Measurement of Motion Activity during Ambulatory Using Pulse Oximeter and Triaxial Accelerometer", *Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*, vol 1, pp. 436-441, 11-13 Nov, 2008.

[6] Philip Levis, Sam Madden, David Gay, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, Jason Hill, Kamin Whitehouse, Alec Woo, Matt Welsh, Eric Brewer and David Culler, *TinyOS: An Operating System for Sensor Networks*, Ambient Intelligence. W. Weber, J. Rabaey, and E.Aarts (Eds.), Springer-Verlag, 2004.

[7] 정상중, 이훈재, 정완영, "무선센서네트워크 기반의 가속도 맥파를 이용한 유비쿼터스 헬스케어 모니터링 시스템", *한국해양정보통신학회논문지*, 제 13권, 제4호, pp. 813-820, 2009.

[8] Ziv B. Moses, Linda J. Luecken, and James C. Eason, "Measuring Task-related Changes in Heart Rate Variability", *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS Cite Internationale*, pp. 644-647, August 23-26, 2007.

저자소개



신흥섭(Heung-Sub Shin)

2009년 동서대학교
전자공학과(공학사)
2009년~현재 부경대학교 대학원
전자공학과 석사과정

※ 관심분야: u-헬스케어, 무선센서네트워크, 아날로그 회로



서용수(Yong-Su Seo)

1975년 경북대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1982년 동아대학교 대학원
전자공학과 졸업
(공학석사)

1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업
(공학박사)

1990년~1991년 일본 군마대학교 전자공학과
(외국인연구자)

1994년~현재 동서대학교 정보시스템공학부 부교수.
※관심분야: 디지털영상처리, 패턴인식, 원격 감지



정상중(Sang-Joong Jung)

2007년 동서대학교 전자공학과
(공학사)
2009년 동서대학교 유비쿼터스
IT학과(공학석사)

2009년~현재 부경대학교 대학원 전자공학과 박사
과정

※관심분야: u-헬스케어, 무선센서네트워크, 아날로그
회로, IP-USN



정원영(Wan-Young Chung)

1987년 경북대학교 전자공학과
(공학사)
1989년 동 대학원 전자공학과
(공학석사)

2009년 University of Oulu, Finland, 전기정보공학과
(Dr. of Sci. in Technology)

1999년~2008년 동서대학교 컴퓨터정보공학부
부교수

2008년~현재 부경대학교 전자공학과 교수

※관심분야: 유비쿼터스 센서네트워크, 자동차 안전
편의부품, 마이크로센서, u-헬스케어