

심박변화율을 이용한 PC 기반 실시간 정신작업부하 측정시스템 개발

Development of Real-Time Mental Work Load Measurement System using Heart Rate Variability base on Personal Computer*

고한우** · 윤용현** · 김동윤*** · 양희경

Han Woo Ko** · Yong Hyeon Yun** · Dong Youn Kim*** · Heui Kyoung Yang**

**Ergonomics and Information Technology Group, Korea Research Institute of Standards and Science

***Department of Biomedical Engineering, Yonsei University

Abstract: The evaluation of mental workload is measured by subjective ratings, physiological signals. It takes long time to analysis the measured signals and is very tedious and time-consuming work. Therefore, to evaluate the affect of workload effectively, real-time measurement system is required.

In this paper, real-time mental workload measurement system using cardiac autonomic indices which reflect well the mental workload was developed and evaluated. Analyzed indices were HR, IBI, Lorentz plot, CSI, CVI, and LF/HF ratio of heart rate variability. The system was applied to evaluate the affect of arithmetic task and showed good results. This system was consisted of ECG amplifier, A/D converter, and personal computer, and algorithm was implemented using LabVIEW.

Key word: evaluation of mental workload, cardiac autonomic indices, HR, IBI, Lorentz plot, CSI, CVI, LF/HF
요약: 감성평가 실험시 피험자가 받는 작업부하의 영향을 보다 효율적으로 평가하기 위해서는 실시간으로 정신작업부하를 측정할수 있는 기기가 필요하다. 본 연구에서는 정신작업부하를 잘 반영하는 심혈관계 지표를 이용하여 실시간 정신작업부하를 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 측정시스템에 사용된 심혈관계지표는 HR, IBI, Lorentz plot, CSI, CVI, HRV의 LF/HF이다.

이 시스템은 심전도 증폭기, A/D변환기, PC로 구성되었으며 National Instrument사의 LabVIEW를 사용하여 구현하였다. 시스템 동작환경은 Microsoft사의 Window OS를 기반으로써 시스템 이용자들에게 보다 친숙한 실험환경을 제시할 수 있다. 구현된 시스템을 사용하여 감성실험시 피험자의 정신작업부하 변화경향을 실시간으로 평가할 수 있었다.

주요어: 심혈관계지표, 정신작업부하, HR, IBI, Lorentz plot, CSI, CVI, LF/HF

1. 서 론

생리신호를 사용한 인간의 감성평가사 사용되는 지표는 뇌파, 심전도, 피부 온도, 피부 저항, 혈압 등이

있다. 이들 중 심전도 신호로부터 얻어진 심박변화율은 정신작업부하, 피로, 각성도를 평가하는 지표로서 많이 사용되고 있으며, 지금까지는 주로 실험후에 분석이 이루어져 왔다[1-2].

감성 실험시 피험자의 감성은 시간에 따라 변화므로 측정된 생리신호와 인간의 감성을 비교하여 지표를 추출하기 위해서는 실험장면의 영상녹화는 물론 실험시 발생된 여러 가지 정보들을 기록해야 정확한 감성을 추출할 수 있다. 따라서 사후 분석은 감성 생리 지표와 실험시의 상황을 다시금 비교 분석해야 하는 불편함이

- 본 연구는 과학기술부지원 G7 감성공학과제의 연구비지원을 받아 수행되었음.(과제번호: 2000-J-FS-02-A-01)
- 한국표준과학연구원 인간정보연구그룹
E-mail : hwko@kriss.re.kr
- 연세대학교 의용전자공학과
E-mail : dongkim@dragon.yonsei.ac.kr

있다. 따라서 실험과 동시에 실시간으로 생리지표를 추출하여 나타내는 측정시스템의 개발이 필요하다.

본 연구는 정신작업부하를 실시간으로 측정하기 위하여 심박변화율을 이용한 측정평가시스템을 구현하고, 이를 사용하여 감성평가시 생리신호의 경시변화 파악을 용이하게 하여 보다 정확한 감성평가를 실시하고자 한다. 또한 심박변화율의 분석시 필요한 전처리과정을 실시간으로 처리함으로써, HRV의 전력스펙트럼은 물론, Lorentz plot, CSI(cardiac sympathetic index), CVI(cardiac vagal index) 파라미터도 동시에 추출하여 생리지표간의 비교 평가와, 자극에 대한 상관관계가 높은 지표를 보다 용이하게 추출할 수 있도록 하였다.

2. 실시간 정신작업부하 측정시스템

2.1 시스템 구성

그림 1은 구현된 실시간 정신작업부하 측정시스템의 구성도이다. ECG 증폭기에서 검출된 심전도 신호를 12bit의 데이터 획득 시스템(National Instrument 사의 AT-MIO-16E-10)을 사용하여 데이터를 획득하면서 PC에서 지표분석에 필요한 디지털 신호처리를 할 수 있도록 하였다. 또한 정신작업부하의 크기를 반영하는 심혈관계 지표를 실시간으로 구하기 위하여 알

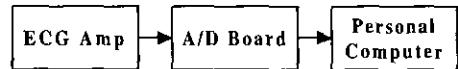


그림 1. 실시간 정신작업부하 측정시스템

고리즘을 개발하였다. 그림 2는 획득된 데이터의 화면 표시 및 저장과 심혈관계 지표를 실시간으로 구하기 위하여 개발된 알고리즘의 구동부분이다.

개발된 시스템은 ECG 신호로부터 R-peak를 자동적으로 검출한 후 이를 이용하여 심박변화율을 추출하여 분석하는 부분과, Lorentz plot을 이용하여 분석하는 부분으로 구성되어있으며 National Instrument사의 LabView ver. 5.2를 사용하여 개발되었다. 그림 3에 측정시스템의 동작화면을 나타냈다.



그림 3. 시스템 동작 화면

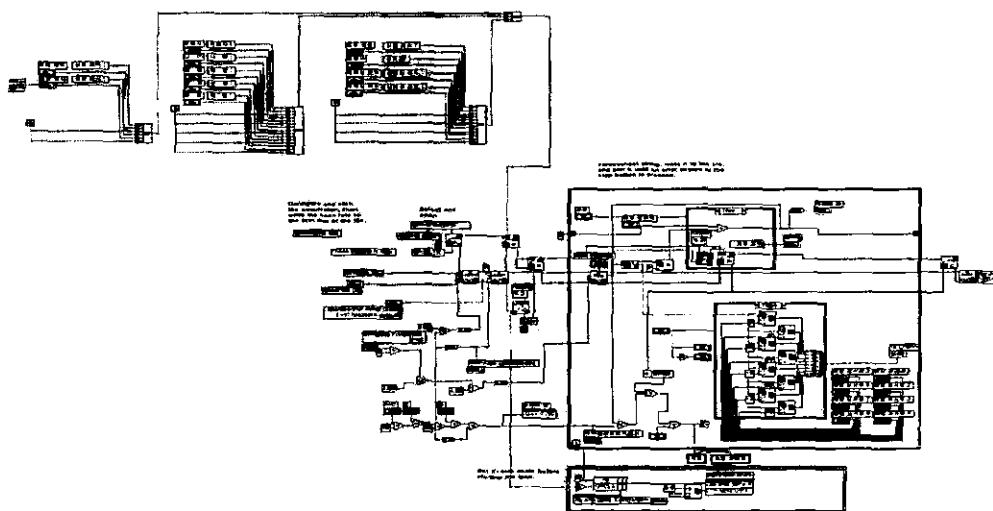


그림 2. 실시간 MWL 측정 시스템의 구동 알고리즘

2.2 심혈관계지표의 추출

2.2.1 심박변화율

그림 4는 심박변화율 추출과정의 블럭선도이다. ECG 신호로부터 QRS complex를 검출하여야 심박변화율을 구할 수 있으므로 A/D 변환된 ECG 신호를 60Hz notch 필터를 통과시켜 SNR을 높이고 5-20Hz의 대역통과필터(band pass filter)를 통과시켜 QRS complex가 주된 주파수 성분인 신호를 추출하였다. 이와 같이 QRS complex가 강조된 신호로부터 R-peak를 자동적으로 검출하여 inter beat interval(IBI)을 구했다. R-peak 검출시 잡음 등으로 인한 오검출이 발생하게 된다. 오검출에 의한 영향을 실시간으로 제거하기 위하여 검출된 현재의 IBI값이 직전 값의 20%를 초과하는 IBI값을 적절하게 수정하는 방법이 제안되고 있다[3]. 본 저자들은 오검출시의 IBI 값을 직전의 두 값에 대한 평균값으로 치환하는 보정 알고리즘을 적용하였다. IBI는 주파수 영역 분석을 위하여 cubic spline interpolation 후 4Hz로 re-sample하여 심박변화율 신호를 구하였다.

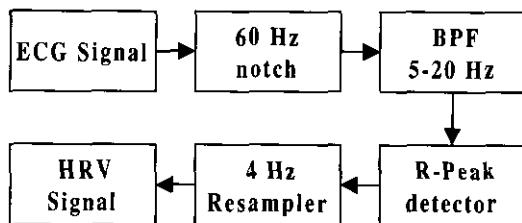


그림 4. 심박변화율 추출과정 블럭선도

2.2.2 HRV의 전력스펙트럼분석

심박변화율의 전력스펙트럼분석은 교감신경계와 부교감신경계의 활동을 파악하는데 유용하다. 본 연구에서는 심박변화율의 파워스펙트럼을 구하는데 매 2분간의 심박변화율 신호를 FFT하여 전력스펙트럼을 구하였다. 이렇게 구한 스펙트럼성분은 교감신경계의 활동을 반영하는 LF(0.04-0.15 Hz) 성분과 부교감신경계의 활동을 반영하는 HF(0.15-0.4 Hz) 성분으로 나눌 수 있다. 또한 LF/HF비를 구하여 2분 간격으로 화면에 나타냄으로써 자율신경계의 활동변화를 ECG

신호의 획득과 동시에 측정할 수 있도록 하였다.

2.2.3 Lorentz 선도

Lorentz선도는 연속적인 시계열 데이터간의 시간에 따른 변화의 상관관계가 불안정한 주기적 궤도를 나타내는지에 대해 평가하는 방법이다. 본 시스템에서는 R-Peak 검출기에서 검출된 R-R 간격 수열 $R(n)$ 과 $R(n+1)$ 을 2차원 공간에 재구성하였다. 그림 5는 Lorentz 선도의 예이다.

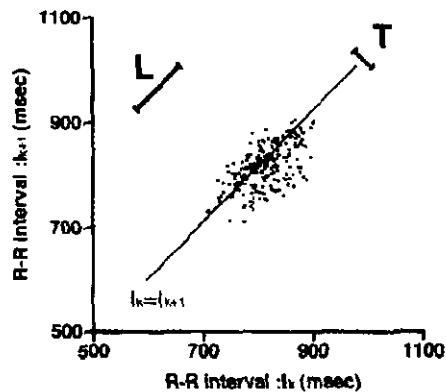


그림 5. Lorentz 선도

구해진 Lorentz 선도로부터, 최근 Motomi Toichi 등에 의해서 새로운 심혈관계 지표로 발표된, 교감신경활동을 반영하는 CSI와 교감신경을 제외한 활동을 반영하는 CVI를식 1을 사용하여 구하였다[4].

$$\begin{aligned} \text{CSI} &= L/T \\ \text{CVI} &= \log(L \times T) \end{aligned} \quad (1)$$

그림 6은 이상의 심혈관계지표 추출을 위한 기능별 블록과 전체 신호처리 과정을 나타낸다.

2.3 획득 데이터의 저장

평가 시스템은 피험자로부터 획득된 생리신호 데이터들과 이들로부터 구해진 감성생리지표들은 텍스트 파일 형태로 PC의 하드디스크에 저장하여 사후분석에 사용될 수 있도록 하였다. 저장되는 감성지표는 IBI와 이로부터 구해진 심혈관계지표들이다. 또한 과거 실

협시 저장된 IBI 데이터들을 읽어들여 off-line으로 평가지표들을 분석할 수 있도록 하였다.

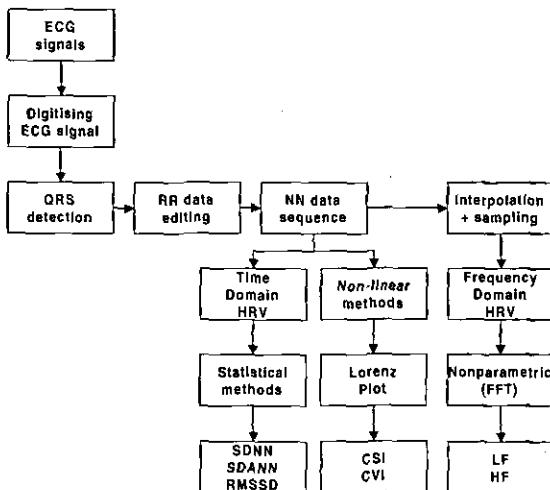


그림 6. 심혈관계지표 추출 기능 불러선도

3. 시스템의 평가 및 고찰

3.1 모의 HRV 신호에 대한 평가

개발된 시스템의 전력 스펙트럼 분석 성능을 평가를 위하여 식 2의 모의 HRV 신호를 발생시켜 주파수 분석 결과를 비교하였다.

$$\begin{aligned}
 y(t) = & 0.8 + 0.1 \cos(2\pi \times 0.1t) \\
 & + 0.05 \cos(2\pi \times 0.25t) \\
 & + 0.02 \cos(2\pi \times 0.4t)
 \end{aligned} \quad (2)$$

본 시스템의 주파수 분해 능력은 0.0078 [Hz]이며, 모의 HRV 신호의 peak 주파수 성분 0.1, 0.25, 0.4 [Hz]는 각각 0.102, 0.250, 0.398 [Hz]로 측정되었으며, 이들 값은 시스템의 주파수 분해 능의 범위내에 속하는 정확도를 보였다. 또한 각 peak 성분의 전력 스펙트럼 밀도비는 전력 스펙트럼 분석화면과 각 peak 주파수의 전력비를 그림 7에 나타냈다.

3.2 정신작업부하 평가 실험

피험자에게 서로 다른 크기의 정신작업부하를 부가



그림 7. 전력 스펙트럼의 평가 결과

하고 본 시스템을 이용하여 심박변화율을 분석하였다. 피험자는 20대 후반의 건장한 남성이었으며 정신 작업부하를 부가하기 위하여 본 저자들이 개발한 연산 task를 수행시켰다.

그림 8은 연산 task 수행시 피험자의 심박변화율 전력 스펙트럼 분석 결과이다. 나이도가 어려워짐에 따라 LF/HF비는 3.56에서 5.56으로 증가하였으며 HF 성분의 peak 주파수가 0.25 [Hz] 부근에서 0.32 [Hz] 부근으로 이동함을 실시간으로 관찰할 수 있었다.



그림 8. 연산작업 수행시 HRV 전력 스펙트럼

4. 결 론

본 연구에서는 감성 측정/평가시 정신작업부하를 반영하는 생리지표 중 하나인 심장의 교감 및 부교감 활동을 실시간으로 분석할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 사용자와의 친숙한 인터페이스 환경을 고려하여 Microsoft사의 Window를 기반으로 하는 Personal 컴퓨터와 일반 상용 A/D board를 사용하여 구현되었다. 소프트웨어 개발 tool로는 LabView ver. 5.2를 사용하였다.

구현된 시스템은 심전도 신호의 R-peak를 정확히 검출하였으며, 심박간격변동을 모의한 신호를 이용한

HRV와 HRV의 전력 스펙트럼 추정의 정확도, Lorentz 선도의 정확도 등에 대한 평가를 실시한 결과 R-peak의 검출 및 주파수 스펙트럼의 추정, Lorentz 선도의 표시 결과는 정확하였다. 또한 연산 작업 수행시 피험자의 심전도 신호를 실시간으로 측정하여 정신작업부하를 평가하는데 본 시스템이 유용함을 보였다. 감성 실험시 본 연구에서 개발된 실시간 심박변화율 분석 시스템을 사용하여 실시간 지표와 off-line 분석시 추출된 지표와 비교 검토한다면 인간의 감성을 연구하는데 크게 도움이 되리라 판단된다.

추후 여러 가지 분석알고리즘에 대한 적용을 검토하고 다른 감성생리지표에 대한 실시간 분석부분을 추가할 예정이다.

*본 연구는 G-7 감성공학 기반기술개발사업에 의해 지원되었음(2000-J-ES-02-A-01)

참고문헌

- [1] P.G.A.M Joma(1992), "Spectral analysis of heart rate and psychological state: A review of its validity as workload index", Biological Psychology, 34, 237-257.
- [2] J.A Veltman, A.W.K Gaillard(1998), "Physiological work load reactions to increasing levels of task difficulty", Ergonomics, 41-5, 656-669.
- [3] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996), "Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use", Circulation, 93, 1043-1065.
- [4] Motomi Toichi, Takeshi Sugiura, Toshita Murai, and Akira Sengoku(1996), "A new method of assessing cardiac autonomic function and its comparison with spectral analysis and coefficient of variation of R-R interval", Journal of Autonomic nervous system, 62, 79-84.
- [5] Lorenzo Basano, Fabio Canepa, Pasquale ottonello (1998), "Real-time spectral analysis of HRV signals: an interactive and user-friendly PC system". Computer methodes and Programs in Biomedicine, 55, 69-76.
- [6] Antti Ruha(1997), "A Real-Time Microprocessor QRS Detector System with a 1-ms Timing Accuracy for the measurement of Ambulatory HRV" IEEE Transactions On Biomedical Engineering, 44-3, 159-167.
- [7] Saeid Reza Seydnejad(1997), "Real-Time Heart Rate Variability Extraction Using ther Kaiser Window", IEEE Tansactions on Biomedical Engineering, 44-10, 990-1005.