

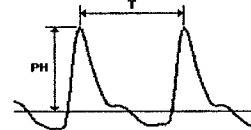
## 맥파를 이용한 감성평가 및 Biofeedback 기술의 개발

이현민\*, 김동준\*, 우승진\*, 양희경\*, 김경섭\*\*, 이정환\*\*  
 \*청주대학교 전자정보공학부, \*\*건국대학교 의학공학부

### Development of Human Sensibility Evaluation and Biofeedback Technology using PPGs

Hyun-Min Lee\*, Dong-Jun Kim\*, Seung-Jin Woo\*, Heui-Kyung Yang\*, Kyeong-Seop Kim\*\*, Jeong-Whan Lee\*\*  
 \*School of Electronics and Information Engineering, Cheongju University  
 \*\*Department of Biomedical Engineering, Konkuk University

**Abstract** - This study describes a method of a human sensibility evaluation using photoplethysmogram(PPG) signal and a biofeedback algorithm to enhance the sensibility. For this objective, the heart rate variability(HRV) is extracted from the PPG signal and using the HRV and its FFT the human sensibility is evaluated. The biofeedback algorithm is designed with motion image player interacting with the results of sensibility evaluation. The sensibility evaluation test showed feasibility of the designed method.



〈그림 1〉 피크 검출에 사용되는 파라미터

#### 1. 서 론

높은 수준의 기술과 의학의 발달은 국민소득의 증가와 더불어 사람들의 건강에 대한 관심을 증가시켰고, 고령화 사회 진입으로 인한 노인 인구의 증가 등으로 의료복지에 대한 수요를 급증하게 만들었다. 이에 따라 일반인, 환자, 노인 등의 건강관리의 필요성이 대두되고 있으며, 특히 육체적 건강에 대한 관심뿐만 아니라 정신적인 외로움, 우울증과 같은 정서 및 감성에 대한 관심이 집중되고 있다[1][2].

감성의 변화는 신경계 반응으로 나타나며, 외부의 자극에 대한 인간의 중추신경계(Central nervous system; CNS)와 자율신경계(Autonomic nervous system; ANS)의 통합적 조절에 의해 나타나는 것으로서 이것을 정량화 하려는 학술적 노력이 활발히 진행되어져 왔다[3-4]. 하지만 중추신경계 반응을 나타내는 대표적 생리신호인 뇌파(Electroencephalogram; EEG)는 머리에 센서를 부착하는 부담감을 가지게 하며, 작은 외부잡음으로도 생체신호의 수집에 어려움을 겪게 되는 문제점을 안고 있다. 따라서 측정 부담감을 최소화하여 공학적 응용의미를 높일 수 있는 방법으로 손이나 발에서 측정가능한 자율신경계 반응을 사용하는 많은 연구가 진행되고 있으며, 감성 변화가 자율신경계 반응으로도 잘 측정될 수 있음이 보고되고 있다[5].

본 연구에서는 우울증이나 정신적/정서적 장애의 가능성이 있는 노인 또는 일반인들이 집이나 직장에서 편안하고 간편하게 자신의 감성 상태를 확인하고, Biofeedback를 통한 감성조절 훈련의 목적으로 HRV를 이용한 Biofeedback용 프로그램을 개발하였으며, 이를 토대로 감성평가 및 Biofeedback 기술을 개발하고자 하였다. 피검자로부터 얻는 생체신호는 심전도(Electrocardiogram; ECG) 신호보다 비교적 쉽게 수집할 수 있는 자율신경계의 대표적 생리신호인 맥파(Photoplethysmogram; PPG)를 사용하고, 수집된 맥파 신호의 심박수를 구하여 HRV를 추출하였다. 또한 HRV의 주파수 영역을 HF(High frequency)/LF(Low frequency) 비율로 분석함으로써 피검자의 상태를 판별한 후 Biofeedback를 실행하였고, 호흡의 조절과 Multimedia therapy를 통한 시각과 청각 효과로 피검자의 안정한 생리적 활동 상태를 유발하도록 하였다.

#### 2. 본 론

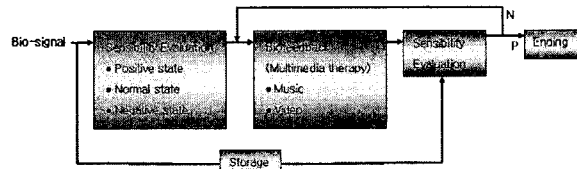
##### 2.1. 맥파를 이용한 HRV 추출

일반적인 성인의 맥박률은 약 60~80bpm(beats per minute)이며, 이는 약 1~1.33Hz에 해당되므로 주기는 약 0.75~1초 이상이 되어야 한다. 주기 검출에 사용되는 윈도우의 길이는 어떤 알고리즘을 이용하더라도 계산량과 거의 직접적으로 비례하여야 하며, 추출된 주기의 정확성과 상충되므로 신중하게 설정하여야 한다. 보통 한주기 이상으로 설정하며, 주기의 급격한 변화에 대처하기 위해 몇 주기의 구간을 더 이용하기도 한다. 이렇게 맥파 신호로부터 피크값을 검출하고, 검출된 피크값과 피크값의 간격을 심박주기라 하며, 그 간격들의 연속적인 변화가 HRV이다.

HRV의 신호를 추출하기 위해서 사용된 피크값 검출 알고리즘은 피크의 높이와 구간 등의 파라미터를 이용하며, 피크 검출은 수집되는 맥파 신호들로부터 각각의 포인트에서 기술기 부호를 검색한 다음, 현재 포인트를 기준으로 뒤로 2 포인트에서의 기술기가 +, 앞으로 2포인트에서의 기술기가 -인 지점을 찾는다. 그리고 그 피크가 순수 맥파의 피크인지 아닌지를 판별하기 위해 실험적으로 정한 문턱값과 비교한다. 만약 그 지점에서의 피크값이 문턱값보다 작다면 오차로 간주하고, 전후 피크값의 평균을 구하여 대입한다. 그림 1은 피크 검출에 사용되는 파라미터를 나타내며, 그림에서 PH는 기준선으로부터 피크의 높이이고, T는 피크간의 폭을 나타낸다.

##### 2.2 Biofeedback

Biofeedback을 위해서는 피검자의 상태를 판별할 긍정적 상태와 부정적 상태의 평가가 선행되어야 한다. 이러한 상태의 평가는 HRV 신호를 FFT함으로써 얻어지는 주파수 영역의 분석을 통해 얻어지며, HF/LF 비율에 따라 정한다. 그림 2는 본 연구에서 사용된 전체적인 Biofeedback의 추진 방법을 나타내었다.



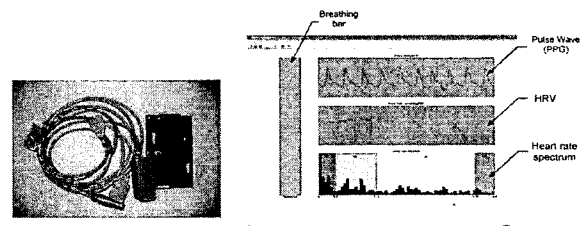
〈그림 2〉 Biofeedback의 추진 방법

피검자의 상태가 긍정적 상태라면 피검자의 맥파 신호 모니터링만을 수행하게 되고 지속적으로 피검자의 상태를 감시한다. 그러나 피검자의 상태가 긍정적 상태에서 부정적 상태로 변화하게 되면 Biofeedback를 추진하게 되는데, 이때 사용하는 방법은 피검자의 호흡을 돕기 위한 Breathing bar를 통한 호흡조절이다. Breathing bar가 올라가는 동안 피검자는 호흡을 들이 마시고, 반대로 Breathing bar가 내려가는 동안은 호흡을 내린다. 이 동작을 되풀이함으로써 피검자의 호흡을 안정된 호흡으로 유도할 수 있다. 또한 Biofeedback의 다른 방법으로 Multimedia therapy를 이용한 시각과 청각 효과를 사용하였는데 이는 피검자의 상태가 부정적 상태가 되었을 때, 음악이나 영상을 통해 피검자의 상태의 안정을 도모하도록 한다.

#### 3. 실험 및 결과

##### 3.1. 맥파 데이터 수집

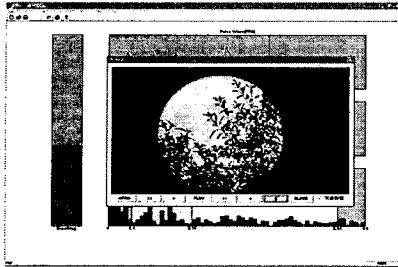
맥파 데이터 수집 시스템은 맥파 측정 모듈, PC로 구성되어 있으며, 맥파 측정 모듈은 KTMED사의 맥파 측정 센서와 KBC-S02 모듈을 사용하였고, 수집용 소프트웨어의 실제 구현은 Visual C++ 6.0을 사용하였다. 맥파 측정 모듈과 수집용 소프트웨어를 그림 3에 나타내었다.



(a) 맥파 측정 모듈 (b) HRV를 이용한 Biofeedback용 프로그램

〈그림 3〉 맥파 측정 모듈과 HRV를 이용한 Biofeedback용 프로그램

피검자의 손가락으로부터 맥파 측정 센서를 통해 검출된 맥파는 RS-232 통신을 통하여 노트북이나 데스크탑 PC에 전달되고, 구현된 소프트웨어에 의해 피크값 검출, HRV 추출, FFT 연산을 통한 주파수 분석 순서로 처리된다. 맥파 데이터 수집은 대학 교수의 연구실에서 실험실 환경조건에 적합한 온도(23~26°C)와 습도(50~65%)를 조성한 상태에서 이루어졌으며, 수집에 앞서 약 10분간 피검자들은 관찰자로부터 수집 중에 불필요한 움직임을 최소화할 것 등의 실험 지시사항을 들으면서 실험실 적응시간을 가졌다. 실험이 시작되면, 먼저 피검자로부터 5-10분 정도의 휴식 상태의 맥파를 수집하고, 이어서 부정적 상태유발 동영상 클립을 10-15분 정도 보여줌에 피검자의 부정적 상태를 유도하였다. 피검자의 상태가 부정적 상태를 계속해서 유지하게 되면, 프로그램이 자동으로 Biofeedback을 실행하여 그림 4와 같이 피검자의 선호 동영상 클립을 보여줌에, 동시에 호흡요법을 실시하도록 하였다.



〈그림 4〉 Biofeedback 실행 모습

실험에 사용된 동영상은 미리 설문조사를 실시하여 피검자에 따라 자체적으로 제작한 동영상 클립이며, 실험이 끝난 후에 동영상 클립의 적합성 및 효과성을 검증하기 위해 주관적 설문조사를 실시하여 정서평가척도를 분석하였다.

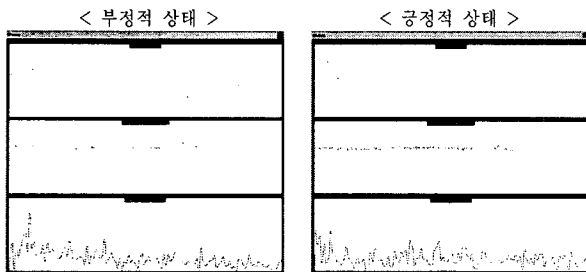
### 3.2. 실험 및 결과 고찰

측정된 맥파 데이터는 피크값을 검출해서 R-R 간격을 계산하고 HRV로 재구성 하였다. 맥파 데이터에서  $n$ 번째 피크값의 위치를  $R_n$ 이라 하고, R-R 간격을  $T_n$ 이라 하면,  $HRV_n$ 은 다음의 수식 (1)과 같이 표현된다.

$$T_n = R_{n+1} - R_n, \quad T_0 = T_1$$

$$HRV_n = T_k, \quad R_k \leq n\Delta T \leq R_{k+1} \quad (n, k = 1, 2, 3 \dots) \quad (1)$$

주파수 대역에서 power값을 나타내기 위해 FFT를 수행하였으며, Power Spectrum Density를 이용하여 주파수 대역별로 에너지의 크기를 볼 수 있다. 에너지 대역별 크기의 변화율은 곧 자율신경계의 길항 작용을 나타낸다. 그림 5는 두 피검자로부터 수집한 데이터의 예이며, 각각 위로부터 맥파, HRV, HRV의 FFT 스펙트럼을 나타낸다.

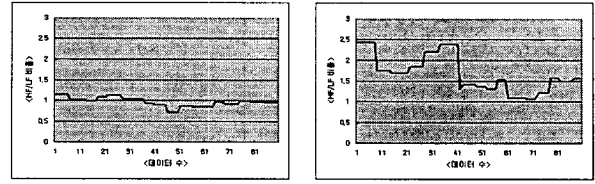


(a) 피검자 WSJ

(b) 피검자 LHM

〈그림 5〉 맥파, HRV, FFT 파형의 예

또한, 각 상태에 대한 주관적 설문 결과와 HRV 스펙트럼을 분석하여 변수인 HF/LF 값의 비율을 구하였으며, 그 비율을 그래프로 나타내어 그림 6에 보였다.



(a) 부정적 상태의 HF/LF 비율 (b) 긍정적 상태의 HF/LF 비율

〈그림 6〉 부정적 상태와 긍정적 상태의 HF/LF 비율의 예

### 3. 결 론

본 연구에서는 맥파를 이용하여 HRV를 추출, 주파수 분석하여 HF/LF의 비율에 따라 감성상태를 평가하고, 피검자의 감성 상태에 따라 Biofeedback을 실행하는 기술을 개발하고자 하였다. 실험을 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

피검자의 긍정적 상태와 부정적 상태를 비교하였을 때, 긍정적 상태에서 HRV 스펙트럼의 HF 성분이 증가함에 따라서 HF/LF 비율도 증가하는 결과가 나타났으며, 이런 결과는 거의 모든 피검자들에게 공통적으로 나타났다. 이는 긍정적 상태에서 HF/LF의 비율의 증가로 부교감 신경계의 활동이 우세하였음을 나타내며, 부정적 상태에서의 HF/LF 비율의 감소로 교감 신경계의 활동이 우세하여 나타난 것으로 추측할 수 있다. 이는 기존의 심전도를 이용한 연구자들의 연구 결과와 일치하는 결과로서, 맥파를 이용하여도 유사한 결과를 얻을 수 있다는 가능성을 제시한 것이다.

#### [감사의 글]

본 연구는 2007년도 교육인적자원부 지방연구중심대학 육성 사업의 지원으로 수행되었음.

#### [참고 문헌]

- [1] 태남룡, "고령화 사회의 도래에 따른 실버산업의 활성화 방안", 연세대학교 학위논문, 2004.
- [2] 김윤일, "고령화 사회의 도래에 따른 실버산업의 발전방향", 연세대학교 학위논문, 2002.
- [3] 오상훈, 황민철, 임재중, "심박변화율(HRV)에 의한 시각감성의 구분에 대한 연구", 대한인간공학회 추계학술대회 논문집, pp.473~476, 1997.
- [4] Liu. X.-f., Miao.D.-m., Xiao. W., Huang. W.-f., Liu. F., Liu. P., Wang. W., "Comparison of Heart Rate Variability and Heart Rate between Individuals with Different Emotional Stability in Two Situations", Space Medicine & Medical Engineering, Vol. 17, No. 2, 2004.
- [5] 황민철, 장근영, 김세영, "자율신경계 반응에 의한 감성 평가 연구", 한국감성과학회지 감성과학, pp.51~56, 2004.
- [6] 손진훈, 임재중, 이정화, 여형석, 박진우, "피부자극에 의해 나타나는 감성변화의 평가를 위한 HRV 스펙트럼 분석", 97한국감성과학회 학술대회논문집, pp.91~94, 1997.
- [7] 이충기, 이병채, 정기삼, 김남현, 유선국, "시각 자극에 의한 노인 HRV 해석", 대한전기학회논문지 시스템및제어부문D, pp.330~337, 2005.
- [8] 백은주, 임재중, 이윤영, 하태완, 이배환, "뇌후각 감성 평가를 위한 HEART RATE VARIABILITY SPECTRUM 분석", 한국감성과학회 98추계학술발표논문집, pp.155~158, 1998.
- [9] Takayuki. H., Kiyoko. Y., "The Relaxation Biofeedback System With Computer and Heart Rate Variability Interaction", Technical Report of IEICE, pp.35~38, 2003.
- [10] Nutan. A., Raghavan. V., Vikas. L., Ashish. P., Sreejit. P., "Heart Rate Variability and its Clinical Application for Biofeedback", 17th IEEE Symposium on Computer-Based Medical System, pp.263~266, 2004.
- [11] Shusterman. V., Barnea. O., "Sympathetic nervous system activity in stress and biofeedback relaxation", IEEE engineering in medicine and biology magazine, pp.52~57, 2005.
- [12] Kiyoko. Y., Jun-i. U., Yasue. S., Mikako. M., Yasufumi. M., Kazuyuki. T., "Heart Rate Indication Using Musical Data", IEEE Transactions on biomedical engineering, pp.729~733, 2002.