

HRV를 이용한 Biofeedback용 프로그램 개발

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

Development of Biofeedback S/W Engine using Heart Rate Variable

Hyun-Min Lee*, Seung-Jin Woo*, Heui-Kyung Yang*, Dong-Jun Kim*, 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 software engine that can evaluate human sensibility using a heart rate variable(HRV) of hypochondriac or old people, and suggest biofeedback to enhance their emotion. To develop the software engine, using PPG signal heart rate and HRV are calculated. Using the FFT spectra of HRV, human sensibility is estimated. And a biofeedback software is designed with motion image player, breathing control and other function modules.

1. 서 론

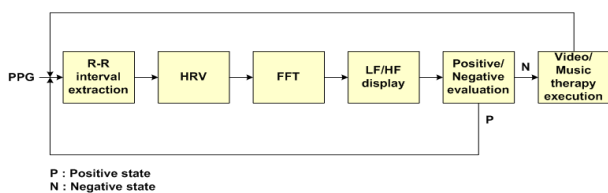
높은 수준의 기술과 의학의 발달은 인간의 평균수명을 점점 높게 만들고 있다. 이미 2000년 유엔이 정한 고령화 사회로 접어들어 우리나라가 65세 이상 인구비중이 14%로 갈 때 까지 걸리는 시간은 약 19년(2019년)에 불과하며, 진입속도는 세계 1위를 기록하였다. 이에 따라 노인문제에 대한 중요성이 크게 부각되고 있고, 특히 노인의 육체적 건강에 대한 관심뿐만 아니라 정신적인 외로움, 우울증과 같은 노인의 정서 및 감성에 대한 관심이 집중되고 있다[1][2].

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 많은 연구들이 진행되어져 왔다[3-5]. 그 중 HRV(Heart rate variability)는 자율신경계의 상태를 측정하기 위한 비침습성의 도구이며, 쉽고 상대적으로 믿을 수 있어서 사람의 내부 상태를 이해하기 위한 색인으로써 사용되고 있다. HRV는 특수한 생리학적 요소와 주파수 스펙트럼간의 일치성을 보인다[6-8]. 그렇기 때문에 이러한 HRV를 Biofeedback에 적용한 연구들이 활발히 진행되고 있고, 모든 분야에 영향을 미치며 대중적으로 발전하고 있는 정보 단말기와 접목시키고자 하는 노력이 진행되고 있다[9][10].

본 연구에서는 우울증이나 정신적/정서적 장애의 가능성이 있는 노인 또는 일반인들이 집이나 직장에서 편안하고 간편하게 자신의 감성을 상태를 확인하고, Biofeedback을 통한 감성조절 훈련의 목적으로 HRV를 이용한 Biofeedback용 프로그램을 개발하고자 하였다. 피검자로부터 얻는 생체신호는 ECG(Electrocardiogram) 신호보다 비교적 쉽게 수집할 수 있는 PPG(Photoplethysmogram) 신호를 사용하고, 수집된 PPG 신호의 심박률을 구하여 HRV의 신호를 추출한다. 또한 HRV의 FFT 연산을 통한 주파수 영역의 LF(Low frequency)/HF(High frequency) 비율로 피검자의 상태를 판별한 후 Biofeedback을 실행하도록 한다. Biofeedback은 호흡의 조절과 Multimedia therapy를 통한 시각과 청각 효과로 안정한 생리적 활동 상태로 유도하도록 필요한 기능들을 개발하며, 모든 기능은 사용하기에 불편함이 없도록 임상 의사들의 의견을 지속적으로 반영하여 수정·보완한다.

2. 본 론

구현된 프로그램의 흐름도를 그림 1에 나타내었다. 본 연구의 프로그램은 Visual C++ 6.0을 기반으로 구현되었고 PPG 신호의 수집은 정확도를 위해 바이오팩을 사용하여 수집하였다.



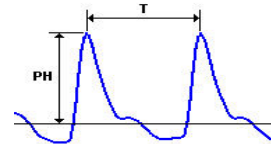
〈그림 1〉 프로그램의 흐름도

프로그램의 구동이 시작 되면, 우선 피검자로부터 PPG 신호를 수집하거나 이미 저장되어 있는 PPG 신호로부터 피크값을 검출한다. 검출된 피크값과 피크값의 간격을 심박주기라 하며, 그 간격들의 연속적인 변화가 HRV이다. 이 HRV 신호를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier transform; FFT)하여 주파수 영역으로 해석하고 LF/HF 영역으로 나누어 피검자의 긍정적 상태와 부정적 상태를 판별하게 된다. 프로그램은 피검자의 상태가 긍정적 상태일 경우 정상상태를 유지하며, 긍정적 상태에서 변화를 일으켜 부정적 상태가 되면 피검자의 상태를 긍정적 상태로 돌려놓기 위해 Biofeedback을 실행하게 된다.

2.1. HRV 추출

HRV의 신호를 얻기 위해서는 수집된 PPG 신호로부터의 주기성을 판별하고 그 주기를 구하여야 한다. 주기 검출을 위한 윈도우의 길이는 어떤 알고리즘을 이용하더라도 계산량과 거의 직접적으로 비례하고, 추출된 주기의 정확성과 상충되므로 신중하게 설정하여야 하는데, 보통 한 주기 이상으로 설정하여야 하며, 주기의 급격한 변화에 대처하기 위하여 몇 주기의 구간을 이용하기도 한다.

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 검출을 위한 심박주기의 피크값 검출 방법은 피크의 높이와 구간 등의 파라미터를 이용하였으며, 이는 그림 2와 같다.

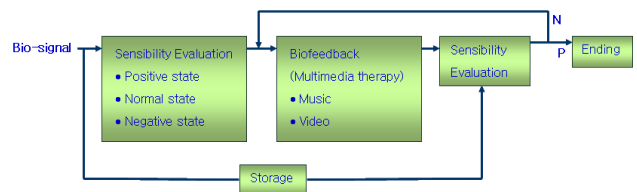


〈그림 2〉 피크 검출에 사용되는 파라미터

그림에서 PH는 기준선으로부터 피크의 높이이고, T는 피크와 피크 사이의 폭을 나타낸다. 피크 검출은 수집되는 PPG 신호들로부터 기울기가 +에서 -으로 바뀌고, PH가 실험적으로 정한 문턱값(1<PH<3)의 범위 안의 피크들을 순차적으로 배열에 저장한다. 저장된 피크 정보를 비교하여 주기를 검출하고, 검출된 주기는 피크간의 차이를 비교함에 따라 실험적으로 정한 허용오차 이내의 차이를 나타내면 주기가 검출된 것으로 정하고, 그렇지 않다면 검출되지 않은 것으로 한다. 즉, 첫 번째 피크가 검출된 값을 P1, 두 번째 피크가 검출된 값을 P2라고 가정하면, 0.4(sec)<P2-P1<1.5(sec)인 경우 주기가 검출된 것으로 한다.

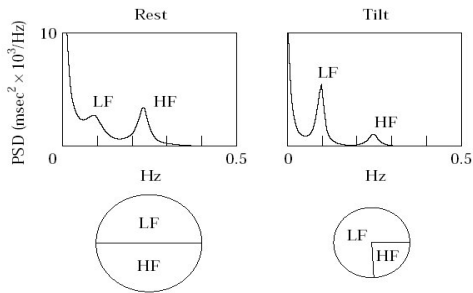
2.2. Biofeedback

그림 3은 본 연구에서 사용된 전체적인 Biofeedback의 추진 방법을 나타내었다.



〈그림 3〉 Biofeedback의 추진 방법

Biofeedback을 위해서는 피검자의 상태를 판별할 긍정적 상태와 부정적 상태의 평가가 선행되어야 한다. 이러한 상태에 대한 평가는 HRV의 신호를 FFT하여 그림 4와 같이 LF/HF의 비율에 따라 정하고, LF/HF의 범위는 표 1을 따랐다.



〈그림 4〉 LF/HF의 비율에 따른 피검자의 상태 평가

〈표 1〉 HRV의 주파수 영역

Variable	Units	Description	Frequency range
ULF	ms^2	Power in the ultra low frequency range	≤ 0.003 Hz
VLF	ms^2	Power in the very low frequency range	0.003~0.04 Hz
LF	ms^2	Power in the low frequency range	0.04~0.15 Hz
HF	ms^2	Power in the high frequency range	0.15~0.4 Hz

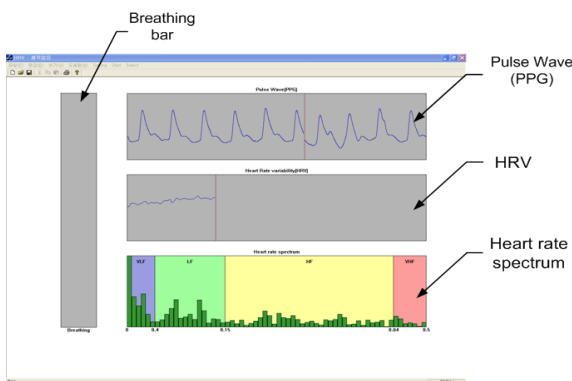
본 연구에서는 Biofeedback의 기법으로 Multimedia therapy를 사용하였으며, 구체적으로 피검자의 선호 음악, 자연의 소리, 기능성 음악 등을 들려주는 Music therapy와 피검자의 선호 풍경, 자연의 풍경, 동영상 등을 보여주는 Video therapy를 적용하였다. 또한 호흡요법을 적용하여 2초간 들이마시고 2초간 내쉬는 일정한 호흡 패턴을 반복적으로 실행하게 만들어 생리적 안정을 유도하게 하였다.

2.3 프로그램의 기능

본 연구의 HRV를 이용한 Biofeedback용 프로그램은 실제로 집이나 직장 등의 PC에서 편안하고 간편하게 사용되는 것을 목표로 하므로 간단한 인터페이스와 쉬운 기능 명령을 구현하였다.

2.3.1 생체 신호의 모니터링

프로그램을 실행하면서 피검자가 자신의 PPG 신호를 시각적으로 확인할 수 있도록 구현하였고, PPG 신호의 심박률에 따른 HRV 신호도 확인할 수 있도록 하였다. FFT의 결과는 선 그래프보다는 쉽게 그 비율을 확인할 수 있는 막대 그래프를 사용하였으며, LF/HF의 주파수 영역별로 각각 다른 색상을 넣어 디스플레이하여 쉽게 영역을 구별할 수 있도록 하였다. 이를 나타낸 프로그램의 인터페이스를 그림 5에 보였다.

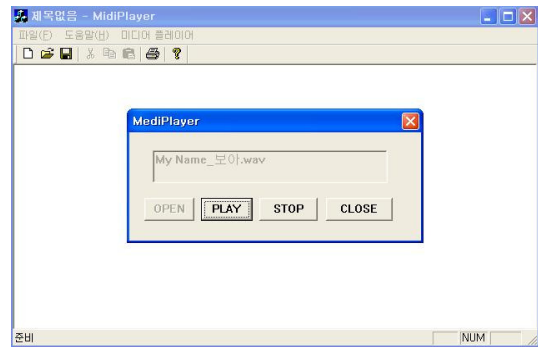


〈그림 5〉 HRV를 이용한 Biofeedback용 프로그램

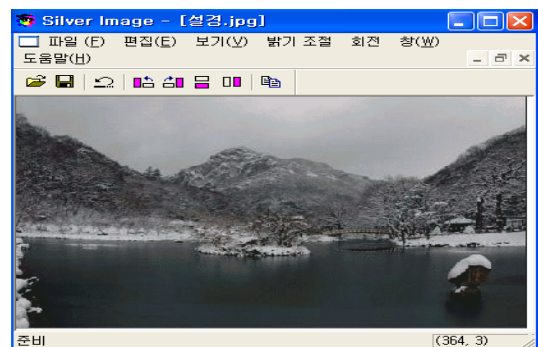
2.3.2 Biofeedback 추진 기능

피검자의 상태가 긍정적 상태라면 프로그램은 피검자의 모니터링만을 수행하게 되고 지속적으로 피검자의 상태를 감시하게 된다. 그러나 피검자의 상태가 긍정적 상태에서 부정적 상태로 변화하게 되면 Biofeedback을 추진하게 되는데, 이때 사용하는 방법은 그림 5의 Breathing bar를 통한 호흡조절이다. Breathing bar가 올라가는 동안 피검자는 호흡을 들이마시고, 반대로 Breathing bar가 내려가는 동안은 호흡을 내친다. 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 도모하였다.

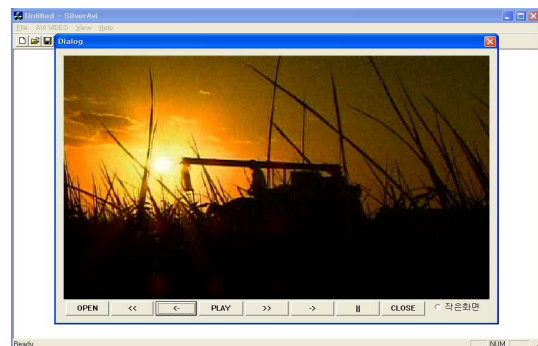
본 연구에서는 Multimedia therapy를 크게 Music therapy와 Video therapy로 나누어 사용함으로써 피검자의 편의와 기호를 고려하였고, 경우에 따라 선호 음악이나 영상들이 사용될 수 있도록 하였다. 그림 6은 Multimedia therapy를 위하여 구현한 본 프로그램의 Media player들이다.



(a) Music therapy용 Audio player



(b) Video therapy용 정지 영상 Media player

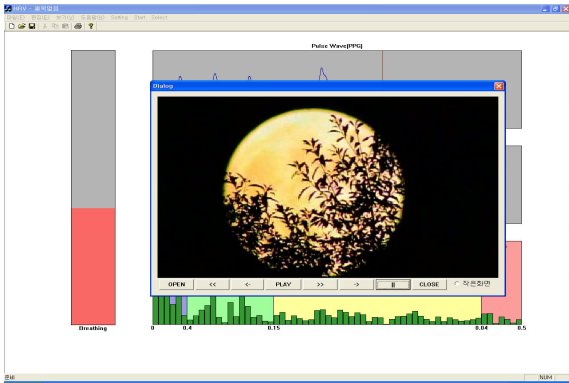


(c) Video therapy용 동영상 Media player

〈그림 6〉 Multimedia therapy를 위하여 구현된 Media player

3개의 Media player 중 어떤 것을 선택할지는 프로그램의 설정에서 피검자가 임의로 정할 수 있으며, 피검자의 상태가 부정적 상태일 때,

자동으로 실행되고 안정을 찾아 긍정적 상태가 되면 사라지도록 하였다. 그림 7은 프로그램이 Biofeedback을 실행하는 모습을 나타내었다.



<그림 7> Biofeedback 실행 모습

3. 결 론

본 연구에서는 HRV를 이용하여 주파수 분석하고, LF/HF의 비율에 따라 감성상태를 평가하여 Biofeedback을 추진하는 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 피검자가 집이나 직장에서 간편하게 사용할 수 있도록 하기 위한 목적을 가지고 있으나, 인간의 감성상태는 개개인에 따라 정성적 질병뿐만 아니라 육체적 질병과도 밀접한 연관이 있을 수 있기 때문에 여러 차례 임상 의사들의 의견을 반영하여 수정·보완 하였다. 이를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

주파수의 영역을 각각 다른 색상으로 디스플레이하도록 구현된 HRV spectrum은 LF/HF의 비율을 쉽게 관찰할 수 있도록 해주고, PPG 신호와 HRV 신호의 변화를 동시에 관찰할 수 있어 피검자의 종합적인 모니터링이 가능하다. 또한 인간의 인지능력이 가장 높은 시각과 청각을 이용하여 Biofeedback의 효과를 높였으며, Breathing bar의 사용은 규칙적인 호흡을 하도록 유도한다. 피검자의 PPG 신호는 저장 가능하고 언제든지 재생이 가능하기 때문에 추후 피검자의 상태를 임상 의사들이 확인하고 적절한 조치를 취할 수 있다.

본 연구는 피검자 데이터의 체계적인 관리와 이상 상태를 감지하여 경고하는 기능의 확장을 진행 중이며, PC뿐만 아니라 휴대 전화나 간단한 의료용 장치에서의 응용이 가능하기 때문에 앞으로 실버산업을 위한 U-헬스케어 개발이 기대된다. 하지만 아직 체계적인 실험을 통한 임상 결과의 획득이 과제로 남아있으며, 상대적으로 젊은 사람보다 자율신경계의 반응정도가 무디고, 당뇨나 고혈압 등의 질병을 가지고 있을 가능성이 많은 노인들은 HRV 데이터로 감정 상태를 분석하는데 어려움이 많기 때문에[7] 노인의 중추신경계의 활동과 HRV의 상관관계를 분석하는 연구가 필요할 것이다.

[감사의 글]

본 연구는 산업자원부 지역산업기술개발사업(중점기술개발사업)의 지원으로 수행되었습니다.(10017508-2007-21)

[참 고 문 헌]

[1] 태남룡, “고령화 사회의 도래에 따른 실버산업의 활성화 방안”, 연세대학교 학위논문, 2004.
 [2] 김운일, “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 연차학술대회논문집, 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, 이운영, 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.