

뇌전도와 심박변이를 이용한 감성 분석 알고리즘에 대한 연구

전기환*, 오주영**, 박순희***, 정연만****, 양동일*****

A Study on Algorithm of Emotion Analysis using EEG and HRV

Ki-Hwan Chon*, Ju-Young Oh**, Sun-Hee Park***, Yeon-Man Jeong****, Dong-Il Yang*****

요약

의료 분야의 감성 및 심리 치료를 확장하여 이와 관련된 기술을 일반 생활에 접목하고, 또한 생체신호를 이용하여 보다 쾌적한 삶의 환경을 구축하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 뇌전도(EEG : electroencephalogram)와 심전도(ECG : electrocardiogram)의 심박변이도(HRV : Heart Rate Variability)의 패턴을 분석하여 평온, 집중, 긴장, 우울의 네 가지 감성을 분류하고 추론하기 위한 감성추론시스템을 설계하고 구현하였다. 많은 감성 인식 연구가 얼굴이나 음성의 인식에 의하여 이루어지고 있으며, 생체신호를 이용한 추론 연구의 경우에도, 뇌전도나 심전도 등의 단일 생체신호의 분석에 의하여 이루어지고 있다. 본 논문에서는 단일 생체신호가 아닌 뇌전도와 심전도 신호를 조합하여 복합적으로 분석함으로써 단일 생체신호의 분석 연구보다 추론의 정확도를 높였으며, 감성 추론을 위한 엔진으로 지도학습과 비지도학습의 RBFN(Radial Basis Function Network) 신경망을 적용하여 오류역전파 알고리즘의 지역 최소점과 수렴속도가 느린 단점을 보완하였다.

Abstract

In this paper, the bio-signals, such as EEG, ECG were measured with a sensor and their characters were drawn out and analyzed. With results from the analysis, four emotion of rest, concentration, tension and depression were inferred. In order to assess one's emotion, the characteristic vectors were drawn out by applying various ways, including the frequency analysis of the bio-signals like the measured EEG and HRV. RBFN, a neural network of the complex structure of unsupervised and supervised learning, was applied to classify and infer the deducted information. Through experiments, the system suggested in this thesis showed better capability to classify and infer than other systems using a different neural network. As follow-up research tasks, the recognizance rate of the measured bio-signals should be improved. Also, the technology which can be applied to the wired or wireless sensor measuring the bio-signals more easily and to wearable computing should be developed.

• 제1저자 : 전기환 교신저자 : 양동일

• 투고일 : 2010. 07. 05, 심사일 : 2010. 07. 29, 게재확정일 : 2010. 08. 24.

* 한림성심대학 의료기기정보과 교수 ** 경인여자대학 정보미디어학부 교수 *** 강원대학교 컴퓨터과학과

**** 강릉원주대학교 정보통신공학과 교수 ***** 한림성심대학 인터넷비즈니스과 교수

▶ Keyword : 뇌전도(EEG), 생체신호(bio-signals), 심박변이도(HRV), 무선 센서(wireless sensor)

I. 서론

의료 분야의 감성 및 심리 치료를 확장하여 이와 관련된 연구 기술을 일반 생활에 접목하여, 보다 쾌적한 삶의 환경을 구축하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 최근에는 심리 및 신경계 질환에 대한 치료요법 중 바이오피드백을 통하여 부분적인 자율신경을 조절할 수 있는 행동치료 요법이 의학 분야를 중심으로 계속하여 관심을 받고 있으며, 약물 요법을 대체하는 심리치료 요법도 의학계에서 활발하게 논의 및 연구되고 있으며, 의공학을 접목하여 다양한 바이오피드백 치료제 품들이 개발되고 있다[1].

감성공학이나 인지과학이란 개인의 경험을 통해 얻어지는 외부의 물리적 자극에 대한 쾌적함이나 안락함과 불편함이나 불편함 등의 복합적인 감성을 과학적으로 측정하고 분석하여, 제품이나 환경에 적용시켜 편리하고 안락하며 쾌적하게 개발하려는 분야로 인간이 중심이 되는 기술이다. 그러나 아직까지는 인간의 감성을 분류하고 추론하는 기술에 대한 연구는 미흡하며, 컴퓨터나 기계 스스로 인간의 상태를 파악하고 분석하는 연구도 현재까지는 매우 미흡한 수준이다.

본 논문에서는 뇌전도와 심박변이도의 패턴을 분석하여 평온, 집중, 긴장, 우울의 네 가지 감성을 분류하고 추론하기 위한 감성추론시스템을 설계하고 구현하였다. 대부분의 감성 인식 연구가 얼굴이나 음성의 인식에 의하여 이루어지고 있으며, 생체신호를 이용한 추론의 경우에도, 뇌전도나 심전도 등의 단일 생체신호의 분석에 의하여 이루어지고 있다. 본 논문에서는 생체신호를 이용하여 감성을 추론하였으며, 단일 생체신호가 아닌 뇌전도와 심전도 신호를 조합하여 복합적으로 분석함으로써 단일 생체신호의 분석 연구보다 추론의 정확도를 높였다. 또한 추론엔진으로 RBFN 신경망을 적용하여 오류역전파 알고리즘의 지역 최소점과 수렴속도가 느린 단점을 보완하였다.

II. 관련연구

1. 인지과학

인지과학은 인간이나 동물의 인지과정인 지각, 기억, 학습 및 감정 등을 규명하고, 이러한 인지과정을 로봇이나 전자제품,

건축물 등의 개발에 적용하기 위한 기법을 연구하는 분야이다.

인지과학이 주목을 받기 시작하면서 인간의 뇌 구조와 기능에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 예를 들어 MIT 미디어랩에서는 사람과 상호 작용하면서 학습하는 로봇에 대한 연구를 진행 중이다. 인간의 감성을 얼굴 표정이나 음성으로 파악하여 그에 맞는 자연스러운 표정을 만드는 로봇에 대한 연구 또한 한국, 미국, 일본에서 진행되고 있다[2]. 인지과학은 인간의 마음, 뇌, 컴퓨터를 통하여 인공산물을 만들어 내는 분야로 의학기술, 전기전자 공학의 하드웨어 기술 및 컴퓨터공학 분야의 추론 및 패턴인식 기술이 필수적이다.

2. 감성공학

감성공학은 인간의 감성을 정량, 정성적으로 측정하고 과학적으로 분석 및 평가하여 이를 제품이나 환경의 설계에 이용함으로써 보다 편리하고 쾌적한 삶을 이루려는 기술에 관한 학문이라 정의하고 있다. 여기에서 감성은 외부의 물리적 자극에 감각, 지각으로부터 인간의 내부에서 야기되는 고도의 심리적인 체험으로 쾌적감, 고급감, 불쾌감 등의 복합적인 감정이다[3].

감성공학이라는 용어는 일본에서 처음 사용하였고, Kansei Engineering으로 연구되고 있으며, 유럽에서는 Human Sensibility Ergonomic이라고 표현한다.

감성공학을 적용하기 위한 제품의 개발이나 연구를 위해서는 먼저 인간의 감성을 이해하기 위한 감성에 대한 연구가 선행되어야 하고 이를 바탕으로 인간의 감성을 측정하는 공학적 기술이 개발되어야 한다[4]. 즉, 감성공학의 기반 기술이 되는 감성지능형 컴퓨팅 기술이 필요한데, 이는 컴퓨터가 인간의 심리상태 변화를 인지하여 학습 및 적용을 통하여 심리상태의 변화를 처리할 수 있는 감성지능 능력을 갖게 하는 것이다.

감성지능형 컴퓨팅은 인간의 감정이나 감성들을 컴퓨터가 인식하여 상황에 맞는 적절한 행위를 하도록 하는 것으로, 이전 지식이나 현재 심리상태를 토대로 적절한 행위를 하는 능력을 갖게 하는 자발적인 행위 시스템이다. 감성을 인식하려면 인간의 생체신호, 얼굴표정, 동작 및 억양 등을 추출할 수 있는 센서 및 시청각 기술이 필요하다.

최근에는 뇌파, 근전도, 심전도, 피부전도도, 체온과 같은 생체신호들을 보다 정확하게 측정하여 인체의 심리상태, 감성 및 생리 상태의 인식 결과를 높일 수 있는 연구가 진행되고 있다.

3. 감성추론

인간의 심리상태나 감성을 추론하기 위해서는 심리상태나 감성을 정의하고 분류하여야 하며, 현재까지 국내외에서 이와 관련된 많은 연구들을 진행하고 있다.

Illinois 대학의 Ortony, Clore, Collins는 감성에 대한 연구를 1980년대부터 수행하여 OCC 모델을 정립하였으며, Northwestern 대학에서는 이를 기초로 하여 감성을 정의하고 더욱 발전시켰다[2].

OCC 모델에서는 대표적인 감성을 즐거움(joy), 고뇌(distress), 희망(hope), 두려움(fear), 자부심(pride), 수치심(shame), 감탄(admiration), 치욕(reproach), 분노(anger), 감사(gratitude), 만족(gratification), 그리고 후회(remorse) 등으로 분류하였다.

MIT 미디어 연구소의 Robotic Life Group에서는 Arousal(환기성), Valence(균형성), Stance(개방성)를 기준으로 감성을 구분하였으며, 이를 AVS모델이라고 하였다. 각각의 감성 기준을 Low Arousal과 High Arousal, Positive Valence와 Negative Valence, Open Stance와 Closed Stance로 분류하였다. 이러한 감성 유형을 바탕으로 인간의 시각 기능에 초점을 맞추어 네 가지 색상의 CCD 카메라를 장착한 감성 지능형 로봇을 개발하였다[5].

AVS모델에서는 감성을 피곤(tired), 완고(stem), 수용(accepting), 조용(calm), 조심(alert), 즐거움(joy), 놀람(surprise), 불행(unhappy), 역겨움(disgust), 분노(anger), 두려움(fear), 만족(content), 위안(soothed), 슬픔(sorrow)의 열네 가지로 나누었다.

Thayer는 인간의 감정을 depress(우울), contentment(흡족), exuberance(풍부), anxious/frantic(걱정/홍분)의 네 가지로 나누었으며, 이를 stress(happy/anxious)와 energy(calm/energetic)의 2차원 공간에 표현하는 모델을 제안하였다[5].

III. 뇌전도 및 심박변이도 측정 및 분석

1. 실험 도구 및 방법

3.1.1 실험 도구

본 논문에서 뇌파와 심전도를 측정하기 위한 측정도구로 Biopac사의 MP150을 사용하였으며, 뇌파를 측정하기 위하여 ECI Electro-Cap을 착용하여 보다 정확하게 뇌파를 측정하도록 하였으며, 심전도 측정을 위하여 전용 전극 리드 셋과

전용 전극을 사용하였다. 측정된 신호를 분석하고 감성 인식 시스템을 구현하기 위하여 Pentium IV 컴퓨터에서 MicroSoft C++와 MATLAB을 사용하였다. <그림 1>은 MP150을 포함하여 본 논문에서 사용한 실험도구를 보여주고 있다.



그림 1. 뇌전도 및 심전도 측정 도구
Fig. 1. EEG and ECG Measurement

3.1.2 실험방법

실험은 20~27세 사이의 남녀 25명을 대상으로 하였으며, 실험 전 자율신경계와 감성에 영향을 줄 수 있는 커피, 담배, 약, 술의 섭취를 하지 못하게 하였고, 실험 전에 생체신호를 측정하는 방법과 감성의 설정 방법에 관하여 충분히 설명하였다. 본 논문에서는 시각과 동시에 청각적인 자극도 동시에 제공하여 보다 자연스러운 심리상태를 만들어서 실험하였다.

자극을 준 후 5분 측정, 10분 휴식하고 다시 측정하였으며, 날짜와 시간을 달리하여 총 5회 측정하였다. 뇌전도와 심전도 측정 개시 후, 초기의 일정시간은 준비기간으로 간주하였으며, 실제 시스템에 사용한 데이터는 측정 후 20초 이후의 것으로 하였다.

각 감성 상태에서의 뇌전도와 심전도 측정 방법은 다음과 같다.

- ① 평온은 눈을 감고 무념무상의 편안한 상태에서 측정하였다.
- ② 집중은 수학 암산 문제를 주고 암산을 하도록 한 후 측정하였다.
- ③ 긴장은 시청각 자극을 동시에 줄 수 있는 액션 스릴러 영화를 시청각하면서 측정 하였다.
- ④ 우울은 설문조사와 준비된 우울하고 슬픈 영화중에서 피 실험자가 직접 선택하였다.

2. 뇌전도

뇌전도(Electroencephalogram:EEG)는 뇌와 관련된 질환을 진단할 때 사용되며, MRI나 CT와 같은 해부학적인 뇌의 구조만을 촬영하는 의료기기로는 관찰할 수 없는 뇌의

기능을 나타낸다. 뇌의 기능을 측정하기 위해서는 뇌파 측정 의료가기 이외에 고가의 고성능 의료가기인 fMRI(functional MRI)나 PET-CT(Positron Emission Tomography-CT)를 사용하여야 한다.

이러한 장비들은 뇌파에 비하여 공간 해상도는 높지만 시간 해상도가 낮고, 뇌의 기능을 측정하기 위한 별도의 공간을 갖추어야만 하며, 고가의 장비로 측정비용이 매우 높은 편이다.

3.2.1 뇌전도의 종류와 의미

본 논문에서는 뇌전도를 구성하고 있는 파형에서 알파파, 베타파, 세타파, 감마파의 네 가지를 감성 인식을 위한 자료로 활용하였다. 델타파는 아직까지는 정상인의 경우 수면상태에서 활성화되며, 수면상태가 아닐 경우 활성화되었을 때 뇌 관련 질환을 앓고 있는 환자일 가능성이 높기 때문에 델타파는 제외하였다.

일반적으로 정상이나 평온한 상태에서는 알파파, 세타파가 우세파로 나타나며, 흥분 시에는 낮은 진폭과 많은 주파수를 보이는 베타파로 변화된다[6]. 베타파는 알파파와는 반대로 흥분하거나 특정한 과제에 주의를 집중할 때 나타나며, 대뇌피질의 세포가 상호 조화롭게 진동하지 못하여 신경세포의 동시 활동이 부족한 비 동기화 현상에 의하여 13Hz보다 큰 주파수를 갖게 된다[7]. 세타파의 경우 성인 보다는 아동에게 많이 나타나는 파형으로, 즐겁거나 불안 상태 또는 졸고 있는 성인에게서도 측정이 되며, 유아가 부모로부터 귀여움을 받거나 모유를 먹는 것과 같은 즐거운 경험을 할 때 100 μ V의 세타파가 측정된다는 임상 보고가 있다[8]. 감마파(γ wave)는 30~50Hz의 주파수를 가지며, 베타파보다 더 빠른 속도를 가지며 감성적으로 더욱 초초한 상태이거나 추리, 판단 등의 고도의 인지 작용 시에 활성화 된다.

3.2.2 뇌전도의 측정 및 분석

1) 측정 위치

뇌파를 측정하기 위하여 머리에 부착하는 전극의 위치는 국제 뇌과학회에서 제시한 10-20 전극법(ten-twenty electrode system)이 가장 많이 사용되며, 본 논문에서도 10-20전극법을 기반으로하여 뇌전도를 측정하였다. 전극은 놓여 있는 위치에 따라 전두극(Frontopolar-Fp), 전두부(Frontal-F), 중심부(Central-C), 두정부(Parietal-P), 측두부(Temporal-T), 후두부(Occipital-O), 귓볼(Auricular-A), 정중부(Zero-Z)로 표현한다[9]. 각 전극간 비율이 두정부(Cz)에서 앞으로는 비근부(nasion), 뒤로는 후두극(inion), 옆으로는 양쪽 귓바퀴의 위 부분까지를 각각 50으로 했을 때 20%, 20%, 10%의

비율로 전후, 좌우가 대칭적으로 등 간격이 되도록 전극을 분산 배치한 것이며, 각 전극간의 거리는 5~6cm이다.

본 논문에서는 보다 정확한 뇌파의 측정 및 분석을 위하여 전극 지정 위치를 F3, F4, T3, T4, O1, O2로 하였다. F3, F4는 대뇌피질에서 좌우 전두부, T3, T4는 좌우 측두부, O1, O2는 좌우 후두부에 해당하는 위치로, 대뇌피질의 전체 영역에 대한 뇌파를 측정하도록 하였다.

2) 측정 방법

본 논문에서는 뇌파 측정을 위하여 Biopac MP150과 국제 표준 10-20 전극법에 의하여 제작되어 있는 Electro-Cap사의 뇌파 측정 전용 캡인 ECI Electro-Cap과 전용 젤을 사용하였으며, 전용 Electro-Gel은 주사기를 사용하여 뇌파 캡에 부착된 전극에 주입하도록 되어 있다. <그림 2>는 Electro-Cap의 착용 모습과 센서 및 전용 젤을 보여주고 있다

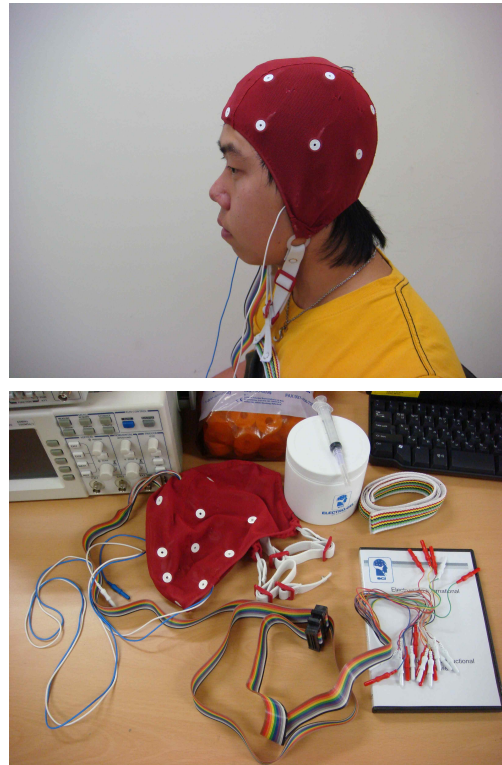


그림 2. 뇌파 측정 도구
Fig. 2. EEG Measurement

3) 분석 방법

생리학적 검사에 대한 생체신호 처리는 시간영역과 주파수 영역에 대하여 수행될 수 있으며, 임상에서는 대부분 진폭,

잠재 및 지속시간, 파형과 같은 시간영역에서의 특성에 대한 검사가 이루어지고 있다. 즉, 의학 분야에서는 신호를 이루고 있는 값들이 시간 축 상에서 변화되는 형태를 관찰하여 중요한 정보를 얻어낸다. 그러나 과학과 공학 분야에서는 인체에서 발생하는 생리 현상에 대한 정보를 가지고 있는 신호들을 수집하여 시간 영역에서 분석하는 것만으로는 충분하지 않고, 신호들에 내포되어 있는 중요한 정보를 알아내는 것이 매우 중요하기 때문에 생체 신호들의 주파수 영역에서의 특성들을 고려한 분석이 요구 된다[4][10].

본 논문에서는 시계열 신호 특성을 주파수 특성으로 변화하기 위하여 고속 푸리에 변환(fast fourier transformation : FFT) 연산을 적용하여 각 파형의 주파수 대역별 파워스펙트럼 밀도(power spectrum density)를 구하였다.

3.3 심박변이도

심박변이도(Heart Rate Variability: HRV)란 하나의 심장주기로부터 다음 심장 주기 사이의 변이를 측정하는 것으로서, 끊임없이 변화하는 심혈관계 제어 메커니즘에 있어 R-R 간격의 변이 특성을 관찰하고 심장박동의 변화 추이를 정량화 한 것이다[11]. HRV를 추출하기 위해서는 <그림 3>과 같이 심전도 신호로부터 R 피크 값을 구하고 심박 주기를 결정하여야 한다. 심전도 신호에서 n번째 피크 값의 위치를 Rn이라 하고, 심박주기를 Tn이라 할 때, HRVn은 (식 1)과 같다[4].

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

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

..... (식 1)

HRV는 심장을 중심으로 하여 심혈관계의 질병을 평가하기 위한 도구로 활용되어 왔으며, HRV의 다양한 분석을 통하여 심혈관계 질환을 보다 빨리 발견함으로써 관련 질병을 예방 할 수 있다. 이와 관련 연구가 지속되어 HRV가 다른 질병에도 효율적으로 활용될 수 있음을 밝혀냈는데, 그중 하나의 분야가 스트레스 분야이다. HRV의 주파수 영역 분석은 네 가지 주기적 성분을 가지고 있는데, 이것은 유럽심장학회와 북미학회에서 기준으로 제시한 것이며, 본 논문에서도 같은 기준으로 HRV를 평가하였다[11].

VLF 성분은 0.002~0.05 Hz의 주파수 대역에 해당하고 주로 호르몬의 영향을 받으며 체온 조절 기능과 레닌-엔지오펜신 효소와 밀접한 관계를 지닌 초저주파 성분이다. LF 성분은 0.05~0.15Hz의 주파수 대역을 가지는 상대적 저주파 성분이고, 교감-부교감신경계의 영향을 모두 받으나 주로 교

감신경계의 영향을 받으며, 혈압조절 메커니즘의 활동을 반영하는 것으로 알려져 있다. HF 성분은 상대적 고주파 성분으로 0.15~0.5Hz 주파수 대역에 할당되고 주로 부교감 신경계의 영향을 받는다. 이 영역을 호흡영역이라 하는데, 이 영역이 호흡주기와 관계가 있으며, 또한 인체의 반사 시스템과 밀접한 관계가 있다[11].

급성 스트레스는 LF 성분과 HF 성분이 모두 평균이상의 크기를 가지면서도 상대적으로 교감신경 활성화도가 더 높은 결과를 나타내며, LF/HF의 값이 높게 형성되는 상태이다. 이는 단기간의 스트레스 상황으로 인해 아직 자율신경계의 활성화도가 전반적으로 손상되지 않으면서 긴장과 흥분이 유발됨으로써 교감신경이 상대적으로 더욱 활성화 된다는 뜻이다. 이에 반해 만성 스트레스는 교감신경과 부교감신경 활성화도가 모두 저하되면서도 상대적으로 교감신경 활성화도가 높아 LF/HF의 비가 급성 스트레스와 마찬가지로 높게 나온다. 이는 오랜 기간의 스트레스로 인한 정신적, 육체적 에너지 소모로 인하여 자율신경의 활성화도가 지속적으로 저하된 것이며, 정신적 긴장도가 지속됨으로서 교감신경계의 활성화도 높아진다는 의미이다[12].

본 논문에서는 HRV의 값으로 부터 질병의 유무나 만성적 질환 보다는 HRV의 주파수 영역 분석으로부터 현재의 스트레스 상태를 파악하여 뇌파의 인식 결과와 함께 심리상태를 인식하기 위한 분석 자료로 활용하였다. 시계열 데이터의 HRV 신호로 부터 고속 푸리에 변환을 적용하여 주파수 영역으로 변환하였고 주파수 영역별로 LF, HF값을 추출하였다. 계산된 값들로 부터 피험자의 스트레스 및 심리상태를 검출하여 본 논문에서 제안한 심리상태판별 시스템의 엔진에 입력하였으며, 심리상태 평가를 위한 기준으로는 유럽 심장학회 및 북미학회에서 제시한 기준을 사용하였다[11].

본 논문에서는 심전도를 측정하기 위하여 표준 지 유도 방법을 모두 사용하였다. 표준 지 유도법은 가장 기본적인 심전도 기록 방법이며, 이 방법으로 심장 관련 질병을 80%이상 진단을 내릴 수 있을 정도로 우수한 유도법이고, 대부분의 부정맥과 심장의 전도장애(heart block)를 표준 지 유도법만으로도 쉽게 진단할 수 있다[13]. 또한 본 논문에서는 HRV의 주파수 영역 특성을 추출하기 위하여 FFT를 구한 값으로부터 전력스펙트럼분석을 통하여 밀도와 분포를 구하였다.

<그림 3.19>는 본 논문에서 구현한 심전도로부터 심박변이도를 구하기 위한 전체 단계의 구조도이다.

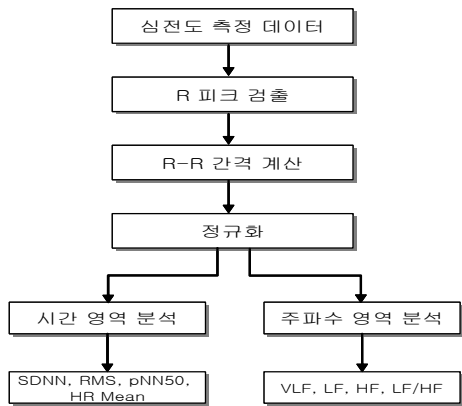


그림 3. 심박변이도 추출 단계
Fig. 3. HRV Extraction Stage

IV. 감성추론시스템 설계 및 구현

본 논문에서는 측정된 뇌파 데이터로부터 평온, 집중, 긴장, 우울 등의 감성을 패턴인식하기 위하여 RBFN을 적용하였다. RBFN은 비지도 학습과 지도학습, 모두를 가지고 있는 복합 신경망이며, 입력층, 은닉층, 출력층의 세 개의 층으로만 구성되어 있고, 입력층과 은닉층에는 연결강도를 갖지 않으며, 은닉층은 RBF 노드들로 구성되어 있다[4]. RBFN에서 은닉층의 목적은 학습 패턴들을 유사한 패턴의 클러스터로 묶는 것인데, 일반적으로 은닉층의 학습에는 k-means 알고리즘이나 비교적 단순한 클러스터링 알고리즘을 적용한다. 그러나 잘못된 클러스터링은 출력층에 대하여 잘못된 입력 값이 구성되므로 전체적으로 RBFN의 성능을 저하시키게 된다.

본 논문에서는 은닉층에서 학습을 위하여, 소속도가 가장 큰 노드를 승리 노드로 선택하여 출력층으로 전달하는 학습구조인 SOM 신경망을 적용하였다.

SOM 신경망은 분류에 우수한 성능을 가지고 있는 비지도 학습이면서 경쟁학습 알고리즘이다.

RBFN에서의 은닉층에서 출력층으로의 학습은 지도학습이며, 본 논문에서는 출력층에서의 학습으로 최소 평균 자승 (least mean squares) 방법을 사용하였다. 또한 본 논문에서는 전형적인 RBFN의 구조를 변경하여 새로운 RBFN 모형을 제안하며, 제안하는 RBFN의 학습 모형에 관한 설명은 아래와 같다.

- (1) 입력층과 은닉층의 학습은 SOM 학습 알고리즘에 의하여 이루어지며, SOM의 출력층이 전체 RBFN의 은닉층이 된다.

- (2) 은닉층의 각 클러스터들 중에서 승리 뉴런을 가지고 있는 노드를 현재 클러스터의 대표노드로 한다.
- (3) 은닉층과 출력층 사이에서의 학습은 최소평균자승 알고리즘으로 학습한다.
- (4) 은닉층과 출력층의 노드들은 완전연결구조이나, 은닉층과 출력층의 학습동안 출력 값과 목표 값을 비교하여 역전파 할 때에는 현재 클러스터의 대표 노드만 연결강도인 가중치를 조정하도록 한다.

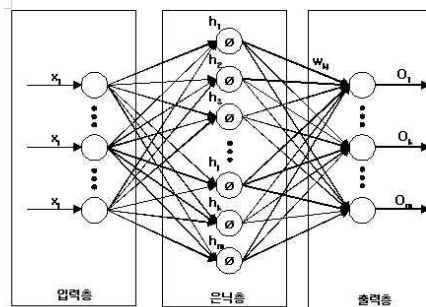


그림 4. RBFN의 구조
Fig. 4. RBFN Architecture

전형적인 RBFN의 은닉층과 출력층은 완전연결 구조로 되어 있으나, 본 논문에서는 그 구조를 변형하여 전체 학습 횟수와 학습 속도를 향상 시킬 수 있도록 하였다. 즉, SOM 학습 알고리즘에 의하여 승리 뉴런과 이웃 뉴런들이 비슷한 연결강도를 가지게 되었기 때문에, 은닉층과 출력층의 학습은 은닉층의 클러스터들 중에서 승리 뉴런을 가지고 있는 대표노드만 출력층의 노드와의 연결강도를 역전파하면서 조절하도록 하였다.

<그림 5>는 본 논문에서 설계하고 구현한 감성추론시스템의 구조도이다. 전극 위치별 뇌전도의 측정값으로부터 특징추출기를 통하여 추출된 뇌전도의 특징 값과 심전도의 HRV 분석 모듈로부터 분석된 심박변이도 값이 감성추론엔진에 입력되어 평온, 집중, 긴장, 우울의 감성을 추론하게 된다.

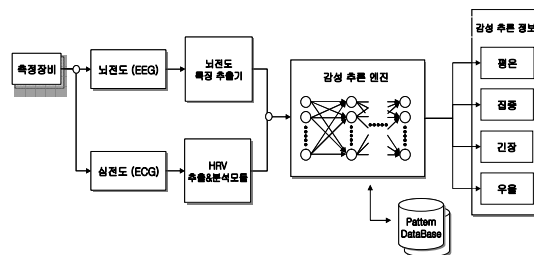


그림 5. 감성추론시스템의 구조
Fig. 5. Emotion Inference System Architecture

V. 실험결과

뇌전도는 각 감성과 대뇌피질의 측정위치에 따라 각 파형의 활성화 형태가 다르다. 본 논문의 실험 및 분석 결과에 의하면, 평온 상태에서는 알파파(8Hz~13Hz)가 후두엽에서, 집중 상태에서는 베타파(13Hz~30Hz)가 전체 위치에서, 긴장 상태에서는 감마파(30Hz~50Hz), 우울 상태에서는 세타파(4Hz~7Hz)가 측두부나 후두부에서 우세파로 활성화 되었다. 따라서 본 논문에서는 각 심리상태에 따른 우세파의 비율과 측정위치에 따라 특징 값에 가중치를 추가하여 인식률을 높이도록 하였다. <그림 6>은 감성별 뇌전도 파형의 패턴 비율 평균값이다.

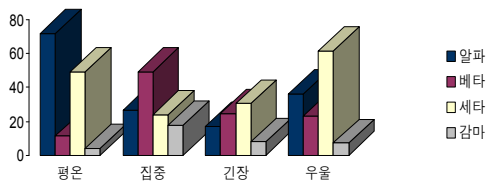


그림 6. 뇌전도의 패턴 비율
Fig. 6. EEG Pattern Ratio

심박변이도의 경우, 평온이나 집중 상태 보다 긴장과 우울 상태의 심박변이도 값이 큰 것을 볼 수 있었으며, 평온 상태와 집중 상태에서 LF와 HF가 균형을 유지하고 있으나, 긴장 상태나 우울 상태에서는 LF의 값이 HF의 값보다 더 큰 값을 가짐으로서 그 균형이 깨진 것을 알 수 있었다. 피부전도도의 경우에는, 심리상태 간 차이를 분석하여 보면 안정된 상태인 평온과 집중의 평균값($\Delta\mu Mho$)은 큰 차이를 보이지 않았으나, 자극이 주어지는 긴장이나 우울의 값은 안정 상태인 평온이나 자극이 비교적 없는 집중과는 차이가 커서 확연한 구분이 가능하였다.

<표 1>과 <그림 7>은 반복횟수에 따른 감성추론시스템의 각 감성별 분류율과 그래프이다. 평온과 우울의 심리상태는 평균 81.4%의 분류 성공률을 얻었으며, 집중과 긴장은 각각 81.2%, 80.4%의 분류 성공률의 결과를 보여주었으며, 전체의 평균 결과는 81.1%로 우수한 성능을 보였다.

표 1. 각 감성별 분류율(%)
Table 1. Each Emotion Catalogue Percentage(%)

심리상태 \ 반복횟수	1000	2000	5000	10000	평균
평온	80.8	81.2	81.5	82.1	81.4
집중	80.6	80.9	81.5	81.9	81.2
긴장	79.9	80.1	80.5	81.1	80.4
우울	80.7	81.0	81.7	82.1	81.4

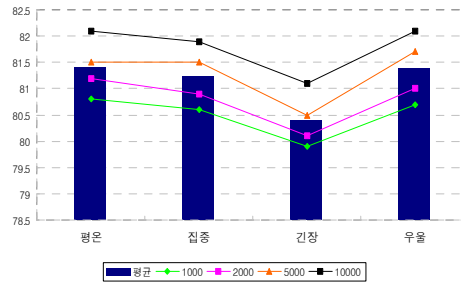


그림 7. 각 감성별 분류율 그래프
Fig. 7. Each Emotion Catalogue Percentage Graph

VI. 결론

인간 중심의 환경을 구축하기 위한 다양한 기술 중에서 최근에 주목받고 있는 분야가 생체신호기반 컴퓨팅 기술이다. 생체신호기반 컴퓨팅 기술은 뇌전도, 심전도, 근전도와 같은 생체신호를 분석하고 그 의미를 파악하여 노약자나 장애인이 컴퓨터를 편리하게 이용하게 하거나, 전통 휠체어와 같은 보조기의 구동을 수축을 이용하지 않고도 제어할 수 있도록 하고, 컴퓨터나 주변 환경 스스로 인간의 여러 가지 상황이나 상태를 파악하여 인간에게 보다 쾌적한 삶을 살 수 있도록 하여, 궁극적으로 기계중심의 사회에서 인간중심의 사회로 변화시키는 도구이다.

본 논문에서는 뇌전도와 심박변이도를 측정하고 분석하여 평온, 집중, 긴장, 우울의 네 가지 감성을 추론하는 감성추론시스템을 설계하고 구현하였다. 측정된 뇌전도와 심전도는 다양한 방법을 통하여 특징을 추출하였고, 추출한 뇌전도와 심전도의 심박변이도로부터 감성을 인식하기 위하여 RBFN 신경회로망을 적용하였다. 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 시스템의 평균 분류 성공률은 81.1%로서, 매우 우수한 성능을 보여 주었다.

본 논문의 연구 내용은 유비쿼터스 시대에 인간의 심리 상태와 생체상황을 자동으로 감지하여 그에 알맞은 서비스를 제공하는 로봇이나 전자제품, 자동차, 의료기기 등에 적용이 가능하며, 특히 의료분야에서 정신질환이나 뇌와 관련된 질환을 앓고 있는 환자의 뇌파나 생체신호 분석을 통하여 질병의 상태를 파악하고 치료에 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한 생체 정보를 센서로 감지하고 분석한 후, 분석된 정보로부터 치료 방안을 제시하거나 직접 치료를 지시하는 유비쿼터스 병원이나 헬스케어 시스템 분야의 연구에 기여할 것으로 기대된다.

향후 연구과제로는 측정된 생체신호들을 보다 정확하게 패턴을 분류하고 인식하는 것이며, 가능한 한 인체와 최소한으로 접촉하여 측정할 수 있는 무선 생체신호 센서의 개발이다.

참고문헌

- [1] Cartozzo, H.A., "EEG Biofeedback and the Remediation of ADHD symptomatology: A controlled treatment outcome study," Annual Conference of the Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback, Cincinnati, Ohio, March, 1995.
- [2] 양동일, "백진데이터의 온톨로지 표현과 진단 서비스 추론 시스템," 박사학위논문, 강원대학교, 2007년.
- [3] Mitsuo Nagamachi, "Kansei Engineering : A new ergonomic consumer-oriented technology for product development," international Journal of Industrial Ergonomics, Vol.15, 1995.
- [4] 전기환, "생체신호를 이용한 심리상태 판별의 인식모델에 관한 연구," 박사학위논문, 강원대학교, 2008년.
- [5] 김진봉, "유비쿼터스에서의 감성정보 인식," 박사학위논문, 강원대학교, 2005년.
- [6] Hergenhahn, M., "An introduction to theory of learning," N.Y., Prentice-Hall, pp.388-423, 1988.
- [7] 윤중수, "뇌파학 개론," 고려의학, 1999년.
- [8] 송대식, "폭력적인 영상물이 뇌파에 미치는 영향에 대한 연구: 시청등급 분류와 뇌파 자극과의 실제 상관관계 분석," 석사학위논문, 경성대학교, 2006년.
- [9] 이한기 외, "해부생리학," 2006년.
- [10] Han-Woo Ko etc, "Digital Bio-Signal Processing," 1997.
- [11] Task Force of European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology, "Standards of Heart rate variability", European heart journal, pp.354-381, 1996
- [12] Mahn-Hee Gang, Clinical Significance of the Stress Test using Heart Rate Variability, OMD Thesis, Pochon CHA University; 2007.
- [13] 김대식, "임상생리학," 고려의학, 2004년.

저자 소개



전 기 환

1998년 3월~현재:
 한림성심대학 의료기기정보과 교수
 2008년 8월: 강원대학교 이학박사
 관심분야: 유비쿼터스 헬스케어, 의료
 기기 설계, 생체신호 분석,
 RFID/USN



오 주 영

2003년 ~ 현재: 경인여대 교수
 2002년: (주)참좋은인터넷 책임연구원
 2001년: (주)이갈로스 선임연구원
 1998년: ETRI 위촉연구원
 관심분야: 설계자동화, 통합설계,
 암호화/보안



박 순 희

2007년 2월: 강원대학교 이학석사
 2009년 8월: 강원대학교 이학박사
 2007 ~ 현재: 한림성심대학 시간강사
 2007 ~ 현재: 강원대학교 시간강사
 관심분야: 온톨로지, 영상처리,
 유비쿼터스



정 연 만

승실대학교 전자공학과 공학사
 승실대학교 전자공학과 석사
 승실대학교 전자공학과 공학박사
 사단법인 한국모바일학회 재무이사
 2010년 현재:
 강릉원주대학교 전기정보통신공학부 교수
 관심분야: 무선통신시스템 및 신호처리



양 동 일

2004년 2월: 강원대학교 이학석사
 2007년 8월: 강원대학교 이학박사
 2007년 3월~현재:
 한림성심대학 인터넷비즈니스과 겸임교수
 관심분야: 온톨로지, 유비쿼터스, 포렌식