

10채널 뇌파를 이용한 감성 평가에 관한 연구

강동기*, 김홍환*, 김동준*, 고한우**

*청주대학교 전자정보통신반도체공학부, **한국표준과학연구원

A Study on the Human Sensibility Evaluation Using 10-channel EEG

Dong-Kee Kang*, Heung-Hwan Kim*, Dong-Jun Kim*, Han-Woo Ko**

*School of Electronic, Semiconductor, Computer & Communication Eng., Chongju Univ.

**Korea Research Institute of Standards and Sciences

Abstract - This paper describes a method of human sensibility evaluation for pleasant and unpleasant environments. Conditions of the environment are room temperature and humidity. Changing the conditions, 10-channel EEG signals for 4 subjects are collected. Linear predictor coefficients of the recorded EEGs are extracted as the feature parameter of human sensibility. A neural network-based human sensibility estimation algorithm is developed.

The developed algorithm showed good performance in the pleasantness evaluation. The neural network output produced accurate states of pleasantness sensibility. Subject-independent test showed similar results with subject-dependent test.

1. 서 론

인간의 감성을 측정하고 과학적으로 분석하여 이를 제품설계나 환경설계에 응용하여 보다 편리하게 하고 더 나아가 인간의 삶을 쾌적하게 하고자 하는 감성공학에서 중요한 연구 분야 중의 하나는 인간의 쾌적성을 평가하기 위한 기초자료로서 인간의 감성을 측정하고, 인간이 어떠한 조건하에서 쾌적/불쾌적 등의 감성을 가지게 되는지 등을 측정하는 것이다. 이러한 연구는 최근 10여년간 미국, 일본, 유럽 등에서 활발히 연구되어 왔다. 국내에서도 80년대 후반부터 감성공학에 대한 연구가 시작되어 최근에는 관심이 크게 고조되어 많은 기업과 연구자들이 이에 대한 연구결과를 발표하고 있다. 이런 감성에 대한 연구에서는 두뇌 활동에 대한 정보를 포함하고 있는 뇌파를 많이 이용하고 있다. Musha 등은 ESAM(emotion spectrum analysis method)을 개발하여 감정을 정량화한 연구를 발표하였고[1], Yoshida는 앞쪽 2채널 뇌파의 α 파 fluctuation을 이용하여 쾌적성과 각성도와의 상관관계를 연구하였으며[2], Davidson은 뇌파의 전력이 긍정 감정과 부정 감정에 따라 비대칭적으로 나타남을 입증하였다[3]. Anderson 등은 AR 모델을 이용하여 정신적 작업을 분류하는 연구를 발표하였다[4]. 이러한 연구들은 나름대로의 성과를 배출하였으나, 개인차가 크고 변화가 심한 뇌파의 특성으로 인해 한계를 나타내고 있다.

본 연구에서는 10채널의 뇌파에서 선형예측기 계수를 추출하여 감성의 특징 파라미터로 이용하고, 신경 회로망을 이용한 감성 평가 알고리즘을 개발하여 쾌적과 불쾌적인 환경에 대한 감성 평가를 하고자 하였다. 이를 위하여 뇌파 수집 시스템을 구축하였고, 쾌적과 불쾌적인 온도

및 습도 환경에서 성인 남성 4인의 뇌파를 수집하였다. 그리고 나서 디지털 필터링, 눈 깜빡임 제거 등의 전처리 기법과 선형예측 분석의 신호처리 기법을 개발하였고, 신경 회로망을 토대로 한 감성 평가 알고리즘을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 감성 파라미터 추출 및 평가 알고리즘

생체 시스템의 동작은 매우 복잡한 비선형 시스템으로 볼 수 있을 것이나, 시스템이 비선형적 특성을 가져도 선형 모델링으로 분석 차수를 높게 설정하면 근사한 결과를 얻을 수 있다고 알려져 있으므로 많은 뇌파 연구에서 FFT 뿐만 아니라 선형 모델링 방법도 이용한다. 본 연구에서는 뇌파의 발생 과정을 전극(all-pole) 시스템인 AR 모델로서 모델링하여 선형예측기 계수를 이용하여 감성 특징 파라미터를 추출하였다. 선형 뇌파 발생 모델은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

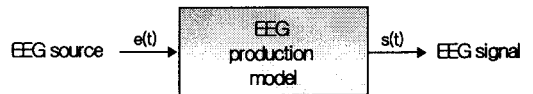


그림 1. 선형 뇌파 발생 모델

이 모델은 z -변환 형태로 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(z) = E(z) \frac{1}{A(z)} \tag{1}$$

이 식은 전극 합성 모델(all-pole synthesis model)로 볼 수 있고, 역필터 $A(z)$ 는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$A(z) = \sum_{i=0}^M a_i z^{-i}, \quad a_0 = 1 \tag{2}$$

따라서 뇌파 신호의 합성 모델과 분석 모델은 식 (3), (4)와 같이 나타낼 수 있을 것이다.

$$S(z) = E(z) \frac{1}{A(z)} : \text{합성 모델} \tag{3}$$

$$E(z) = S(z) A(z) : \text{분석 모델} \tag{4}$$

뇌파 신호의 분석 모델은 표본화된 데이터 영역, 즉 시간 영역에서 식(2)를 이용하면, 역 z -변환되어 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$e(n) = \sum_{i=0}^M a_i s(n-i) \quad (5)$$

$$= s(n) + \sum_{i=1}^M a_i s(n-i)$$

선형예측기 계수는 현재 신호를 이전 신호들의 선형 결합으로 나타낸 예측된 샘플간의 오차를 최소 제곱 기준 (least squares criterion)을 적용하여 선형예측 분석을 하여 구해진다. 현재 신호 샘플을 $s(n)$, 예측된 샘플을 $\hat{s}(n)$ 이라 하면, 예측 오차(prediction error)는

$$e(n) = s(n) - \hat{s}(n) \quad (6)$$

이고, 여기서

$$\hat{s}(n) = - \sum_{i=1}^M a_i s(n-i) \quad (7)$$

이다. 여기서 $-a_i$ ($i=1, 2, \dots, M$)가 선형예측기 계수이다. 본 연구에서는 선형예측 분석을 위하여 6차의 Burg 알고리즘을 이용한다[5,6]. 이와같이 추출된 감성 특징 파라미터는 다음 단계에서 그림 2와 같은 다중인식자 (multi-layer perceptron) 구조의 신경 회로망으로 입력되어 학습을 시킨후 패턴 분류를 수행한다.

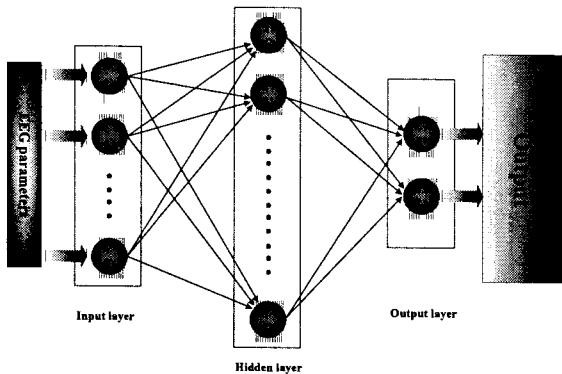


그림 2. 신경 회로망의 구조

신경 회로망은 입력층(input layer)의 노드(node) 수가 60개(6차×10채널), 은닉층(hidden layer)의 노드 수가 60개, 그리고 출력의 노드 수는 2개로 하는 60-60-2의 구조를 갖게 구성하여 쾌적 및 불쾌적에 대한 값을 출력하게 된다.

본 연구에서는 이와 같은 과정을 통해서 감성 평가를 하게 되는데 이러한 감성 특징 파라미터 추출 알고리즘을 이용하여 여러 피검자에게 적용될 수 있는 피검자 독립 시스템을 구현하기 위하여 다중 피검자 학습 방법과 다중 템플릿 방법을 이용하였다. 다중 피검자 학습 방법은 감성 파라미터로 선형예측기 계수를 추출하여 신경 회로망의 학습 과정에서 여러 명의 피검자의 파라미터를 동시에 학습시켜서 패턴 분류하는 방법이고, 다중 템플릿 방법은 신경 회로망에 여러 명의 피검자를 독립적으로 학습시켜서 이로부터 생성되는 가중치들을 템플릿에 저장하고, 해당 감정 상태의 뇌파를 이용하여 가장 가까운 템플릿을 선택하여 패턴 분류하는 방법이다. 이 두 방법의 성능을 비교하기 위해 연극 동아리 대학생 4인을 대상으로 4가지 감정(relaxation, joy, sadness, irritation)의 감정 분류 실험을 한 결과, 다중 피검자 학습 방법이 비교적 높은 인식률을 나타내었으나, 피검자 수가 증가하면 학습이 안 되는 경우가 너무 많았다. 반면에, 다중 템플릿 방법은 인식률은 다소 떨어지지만, 피검자의 수가 증가할수록 많은 템플릿이 생성되고, 따라서 피검자에게 더 적합한 템플릿을 이용하게 하여 성능을 개선시킬 수 있으므로, 피검자 독립 시스템을 구현하는 데에는 다중 템플릿 방법이 더 적합할 것이다.

그림 3은 이러한 다중 템플릿 방법을 이용한 감성 평가

구성도를 나타낸 것이다.

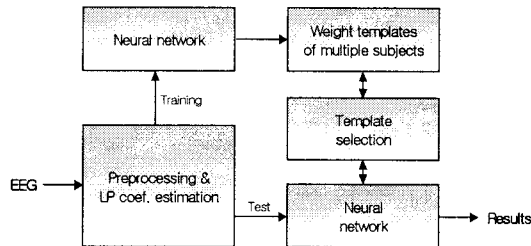


그림 3. 다중 템플릿을 이용한 감성 평가 구성도

2.2 실험 및 결과 고찰

그림 4는 본 연구에서 구성한 실험 장치의 구성을 나타낸 것이다.

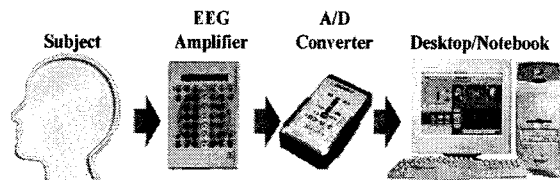


그림 4. 실험 장치의 구성도

뇌파 데이터 수집 시스템은 Electro-cap, EEG 증폭기, A/D 변환기, PC로 구성되어 있다. 피검자의 두피로부터 Electro-cap을 통해 검출된 수십 μV 전압의 뇌파는 32채널용 이득 2000의 EEG 증폭기로 증폭되고, 증폭된 뇌파는 128Hz의 샘플링 주파수와 12bit의 해상도로 A/D 변환되고, 변환된 신호는 노트북이나 데스크탑 PC에 의해서 처리된다. 이 때 Electro-cap은 미국 Electro-cap International사의 20채널 Electro-cap을 사용하였고, EEG 증폭기는 (주)정상테크노사의 증폭기를 사용하였다. A/D 변환기는 미국 Data Translation사의 DT-9804를 사용하였다.

뇌파 데이터는 Musha가 제시한 10채널(Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4, O1, O2)로 하고 [1] 뇌파 데이터 수집은 대학생 4명을 대상으로 하였다. 이때 사용한 task는 극단적으로 쾌적 및 불쾌적인 환경을 온도와 습도를 이용하여 조성하였다. 쾌적한 환경은 온도 23~26°C와 습도 50~60%를 기준으로 하였고, 불쾌적인 환경은 이를 벗어나서 온도와 습도를 최대한 높은 상태로 실험하였다.

감성 파라미터 추출 이전의 전처리에서는 δ 파와 DC 오프셋을 제거하기 위하여 차단 주파수 4Hz의 4차 IIR(infinite impulse response) HPP와 불필요한 고주파 성분을 제거하기 위하여 차단 주파수 30Hz의 4차 IIR LPF를 사용하고, 눈 깜빡임 제거 루틴을 개발하여 적용하였다. 그리고 선형예측기 계수를 이용하여 감성 특징 파라미터를 추출하고 이 파라미터를 이용하여 신경 회로망을 학습시켜서 감성 평가를 하게 된다.

그림 5, 6은 피검자 2명에 대해서 각각 피검자 종속 실험과 피검자 독립 실험의 신경 회로망의 출력을 나타낸 것이다. 각각의 그림에서 위 파형(Pleasant)은 신경 회로망의 쾌적에 해당하는 노드의 출력 파형이고, 아래 파형(Unpleasant)은 불쾌적에 해당하는 노드의 출력 파형이다. 그리고 윗부분의 Relax, Pleasant, Unpleasant는 각각 긴장완화, 쾌, 불쾌에 해당하는 시간 구간을 나타낸 것이고, Tr(Transition)은 한 감정에서 다른 감정으로 변화하는 전이구간을 나타낸 것이다.

그림 5의 피검자 KDK의 결과를 보면 피검자 종속 실험에서는 쾌적 환경 부분에서 쾌에 대한 신경 회로망의 출력이 높고 불쾌적으로 진행하면서 불쾌 곡선이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 피검자 독립 실험에서도 피검자 종속 실험에 비하여 환경 조건별 구별 능력은 조

3. 결 론

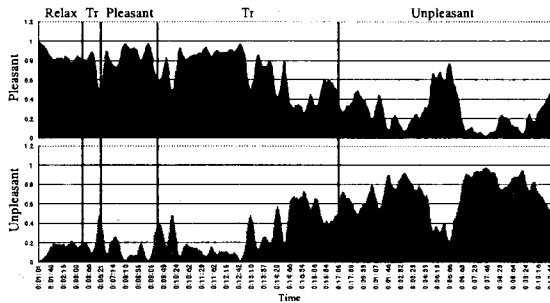
본 연구에서는 쾌적/불쾌적인 온도 및 습도 환경 하에서 뇌파를 수집하여 선형예측기 계수를 특징 파라미터로 하고 신경 회로망을 이용한 감성 평가 알고리즘을 구성하여 감성 평가 실험을 수행하였다.

실험을 통해서 얻어진 결론은 다음과 같다. 첫째, 피검자 종속 실험에서는 쾌적 환경 부분에서 쾌에 대한 신경 회로망의 출력이 높고 불쾌적으로 진행하면서 불쾌 곡선이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 둘째, 피검자 독립 실험에서도 피검자 종속 실험에 비하여 환경 조건별 구별 능력은 조금 낮아졌으나, 쾌적과 불쾌적에 따른 출력의 변화를 뚜렷이 볼 수 있었다. 이 결과를 볼 때 다중 템플릿을 이용한 방법은 피검자 종속 실험에 비해 그다지 떨어지지 않는 정도의 성능을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 이 방법은 피검자의 수를 증가시킬수록 많은 템플릿이 생성되고, 따라서 피검자에게 더 적합한 템플릿을 이용하게 하여 성능이 더 좋아질 것이다. 또한 검색된 템플릿을 피검자 특성에 따라 조정하거나, 피검자 특성을 템플릿 특성에 적응시킬 수 있는 알고리즘과 뇌파의 개인차를 보상할 수 있는 필터를 개발하여 적용하면 성능이 더욱 향상될 수 있을 것으로 기대된다.

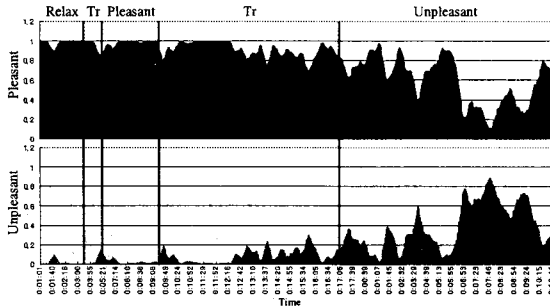
※ 본 연구는 G-7 감성공학기반기술개발사업에 의해 지원되었음(2000-J-ES-02-A-01).

[참 고 문 헌]

- [1] T. Musha, Y. Terasaki, H. A. Haque, and G. A. Ivanisky, "Feature extraction from EEGs associated with emotions," Intl. Sympo. Artif. Life Robotics(Invited Paper), vol.1, pp.15-19, 1997.
- [2] T. Yoshida, "The estimation of mental stress by 1/f frequency fluctuation of EEG," Brain topography, pp.771-777, 1998.
- [3] R. J. Davidson, "Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion," Brain and Cognition, vol.20, pp.125-151, 1992.
- [4] C. W. Anderson and Z. Sijercic, "Classification of EEG signals from four subjects during five mental tasks," In Solving Engineering Problems with Neural Networks : Proceedings of the Conference on Engineering Applications in Neural Networks(EANN), pp. 407-414, 1996.
- [5] J. D. Markel, and A. H. Gray, Jr., "Linear Prediction of Speech", Springer-VerlagBerlin HeidelbergNew York, 1980.
- [6] S. J. Orfanidis, Optimum Signal Processing : An Introduction, 2nd ed., Macmillan Publishing Co., 1988.
- [7] T. Musha, S. Kimura, K. I. Kaneko, K. Nishida, K. Sekine, "Emotion spectrum analysis method(ESAM) for Monitoring the effects of art therapy applied on demented patients," CyberPsychology & Behavior, vol. 3, no. 3, pp. 441-446, 2000.
- [8] T. Yoshida, S. Ohmoto, S. Kanamura, "1/f frequency-fluctuation of human EEG and emotional changes," Noise in Physical System and 1/f fluctuations, edited by T. Musha, S. Sato and Yamamoto, Ohmsha, Ltd. pp. 719-722, 1991.
- [9] M. B. Kostyunina and M. A. Kulikov, "Frequency characteristics of EEG spectra in the emotions," Neuroscience and Behavioral Physiology, vol. 26, no. 4, 1996.

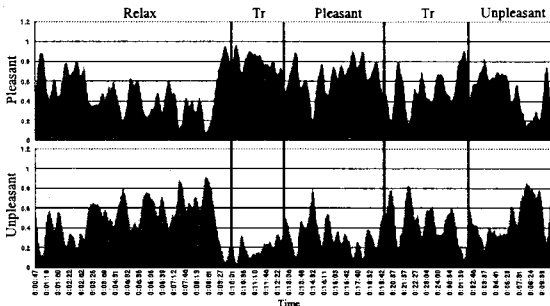


(a) 피검자 종속 실험

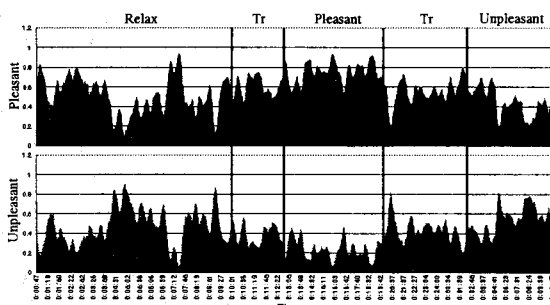


(b) 피검자 독립 실험

그림 5. 쾌적성 평가 실험 결과(피검자 KDK)



(a) 피검자 종속 실험



(b) 피검자 독립 실험

그림 6. 쾌적성 평가 실험 결과(피검자 YJH)

금 낮아졌으나, 쾌적과 불쾌적에 따른 출력의 변화를 뚜렷이 볼 수 있다. 그림 6의 YJH의 결과에서도 마찬가지로 쾌적과 불쾌적의 변화를 볼 수 있다. 이 결과를 볼 때 다중 템플릿을 이용한 방법은 피검자 종속 실험에 비해 그다지 떨어지지 않는 정도의 성능을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.