

다중채널 뇌파를 이용한 감정상태 분류에 관한 연구

강동기*, 김홍현*, 김동준*, 이병채**, 고한우***

*청주대학교 전자·정보통신·반도체공학부, **용인송담대학교 의료정보시스템과, ***한국표준과학연구원

A Study on the Emotion State Classification using Multi-channel EEG

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

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

**Dept. of Medical Information System, Yong-in Songdam College.

***Korea Research Institute of Standards and Sciences

Abstract - This study describes the emotion classification using two different feature extraction methods for four-channel EEG signals. One of the methods is linear prediction analysis based on AR model. Another method is cross-correlation coefficients on frequencies of θ , α , β bands. Using the linear predictor coefficients and the cross-correlation coefficients of frequencies, the emotion classification test for four emotions, such as anger, sad, joy, and relaxation is performed with a neural network.

Comparing the results of two methods, it seems that the linear predictor coefficients produce the better results than the cross-correlation coefficients of frequencies for emotion classification.

1. 서 론

인간의 감성을 정성, 정량적으로 측정 평가하고, 이를 제품이나 생활 환경 등의 설계에 응용하여 궁극적으로 인간의 삶을 보다 편리하고 안락하며, 쾌적하게 하고자 하는 감정공학은 최근 10여년간 우리나라와 미국, 일본, 유럽 등에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 감성을 평가하는 접근방식은 피검자의 주관적인 평가를 토대로 하는 심리적 평가법과 생리신호를 이용하는 생리적 평가법으로 크게 나눌 수 있다. 여기서 이용되는 생리신호는 자율신경계에 의한 혈압, 심전도 맥박, 피부온도 등과 중추신경계의 뇌파(electroencephalogram, EEG) 등이 있는데, 감정(emotion)에 대한 연구에는 뇌파가 많이 이용되고 있다. 이는 뇌파가 두뇌 활동에 대한 정보를 방대하게 포함하고 있으므로 적절한 신호처리 기법을 이용하면, 정신적 활동, 감정상태 등에 대한 많은 정보를 얻을 수 있기 때문이다.

Musha 등은 10채널 뇌파의 FFT 스펙트럼에서 θ , α , β 대역의 상호상관계수를 4가지 감정으로 매핑하는 ESAM(emotion spectrum analysis method)을 개발하여 감정을 정량화한 연구를 발표하였고(1), Yoshida는 앞쪽 2채널 뇌파의 α 파 fluctuation을 이용하여 쾌적성과 각성도와의 상관관계를 연구하였다(2). Davidson은 앞쪽 좌우 뇌파의 전력이 긍정 감정과 부정 감정에 따라 비대칭적으로 나타남을 입증하였다(3). Anderson 등은 가운데와 뒤쪽에서 검출한 6채널의 뇌파를 AR 모델을 이용하여 수학 연산, 편지 쓰기 등의 5가지 정신적 작업을 분류하는 연구를 발표하였다(4). 이러한 연구들은 나름대로의 성과를 배출하였으나, 개인차가 크고 변화가 심한 뇌파의 특성으로 인해 한계를 나타내고 있다.

본 연구는 이러한 선행연구의 결과를 토대로 하여 궁

극적으로 주거 공간이나 사무실 환경에서 감성을 평가하는 기술을 개발하기 위한 기초 연구로서, 뇌파를 AR(autoregressive) 모델로 모델링하여 선형예측기계수(linear predictor coefficients)를 특징 파라미터로 이용할 때와 뇌파의 주파수 대역별 상호상관계수(cross-correlation coefficients)를 이용할 때의 감정상태 분류 성능을 비교해 보고자 하였다. 이를 위하여 성인 남녀 4인이 분노, 슬픔, 기쁨, 안정의 4가지 감정상태를 나타낼 때의 뇌파를 4위치에서 수집하고, 전처리 필터링을 한 후, 선형예측기계수와 상호상관계수를 추출하여 이들 파라미터와 신경회로망을 이용한 패턴분류 실험을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 뇌파 신호처리 및 특징 추출

뇌파는 신호가 미약해서 외부잡음에 매우 민감하다. 감성 공학에서는 보통 뇌파를 약 30Hz까지 다루는데, 아날로그 저역통과필터가 이용되어도 전원 잡음은 진폭이 매우 커서 제대로 차단되지 않고, 전원과 연결하지 않고 배터리를 이용해도 주위의 전자파 간섭을 통해 유입되기도 한다. 본 연구에서는 A/D 변환된 뇌파 신호를 디지털 전처리 필터를 설계하여 이러한 잡음에 대처한다. 불필요한 고주파 성분을 제거하기 위해 차단주파수 30Hz의 4차 IIR(infinite impulse response) 저역통과필터를 설계하였고, DC 옵셋을 제거하기 위해 차단주파수 0.5Hz의 2차 IIR 고역통과필터를 이용하며, 전원 잡음을 확실하게 제거하기 위해 60Hz 2차 IIR 노치 필터도 설계하여 전처리를 수행하였다.

전처리 필터링을 거친 신호에서 선형예측기계수와 θ 파(5~8Hz), α 파(8~13Hz), β 파(13~20Hz)의 뇌파 대역별 상호상관계수를 추출한다.

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

$$e(n) = s(n) - \hat{s}(n) \tag{1}$$

이고, 여기서,

$$\hat{s}(n) = - \sum_{i=1}^M a_i s(n-i) \tag{2}$$

이다. 여기서 $-a_i$ ($i=1, 2, \dots, M$)가 선형예측기계수이다. 본 연구에서는 선형예측분석을 위하여 6차의

Burg 알고리즘을 이용한다[5,6].

뇌파 대역별 상호상관계수는 α 대역에서 j 와 k 번째 전극간의 상호상관계수를 예로 나타내면 다음과 같다 (1).

$$c(\alpha:jk) = \frac{\sum_{\alpha} X_j(f_n) X_k^*(f_n)}{\sqrt{\sum_{\alpha} |X_j(f_n)|^2} \sqrt{\sum_{\alpha} |X_k(f_n)|^2}} \quad (3)$$

여기서 $X_j(f_n)$ 은 j 번째 전극에서 주파수 n 에서의 FFT 스펙트럼을 나타낸다.

2.2 신경회로망을 이용한 패턴 분류기 구성

패턴 분류를 위해서는 유사도 측정 혹은 거리 측정법과 신경회로망 또는 퍼지이론을 이용하는 방법 등이 있는데, 이 중 신경회로망을 이용하는 방법이 성능이 비교적 우수한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 신경회로망 중에서도 패턴분류기로 많이 이용되는 다층인식자(multi-layer perceptron, MLP)를 구성하여 이용하며, 구조는 다음 그림과 같다.

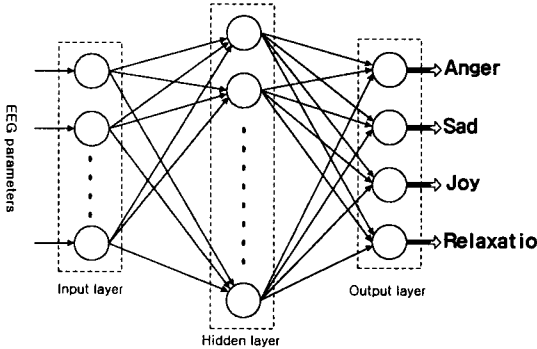


그림 1. 신경회로망의 구조

신경회로망의 입력층(input layer)의 노드(node) 수는 선형예측기계수의 경우에는 6(차)×4(채널)=24개가 되고, 상호상관계수는 $4C_2 \times 3$ (band)=18개이다. 은닉층(hidden layer)은 20개의 노드, 출력층(output layer)은 분류할 패턴이 4개이므로 4개의 노드를 갖는다.

2.3 실험 및 결과

2.3.1 실험

실험은 비교적 조용한 대학교의 교수 연구실에서 수행되었고, 연구동아리 소속 대학생 남녀 각 2인, 총 4인에게 눈을 감고 해당 감정으로 몰입하도록 하여, 감정몰입이 되면 눈을 뜨고 데이터의 수집을 실행하게 된다. 그림 2는 본 연구에서 구성한 실험 시스템을 나타낸 것이다.

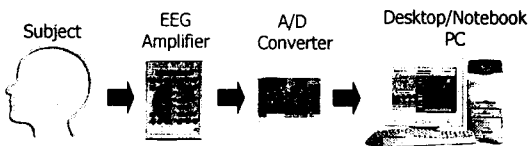


그림 2. 실험시스템의 구성도

전극 캡(Electro-Cap)을 이용하여 전극을 부착하였고, 실험에 이용한 전극 위치는 국제적 10-20 표준의 Fp1,

Fp2, P3, P4의 4곳을 선정하였다. 이는 뇌의 앞(anter)부분과 두정엽(parietal lobe)의 뇌파 활성도에 따라 각도와 쾌감 정도를 구분한 Heller의 감정 모델에 따르면, 본 연구에서 선택한 4곳이 뚜렷한 특징을 나타낼 것으로 생각했기 때문이다. 또한 앞부분의 6곳 중에서도 Fp1과 Fp2를 이용한 연구가 더 많아서 이를 선택하였다.

뇌파 증폭기는 (주)정상테크노의 뇌파 검사장치의 구성품에서 차단주파수 30Hz, 이득 2000인 32채널용 증폭기를 이용하였다. 증폭된 뇌파 신호는 미국 Data Translation사의 USB 포트용 A/D 변환기인 DT-9804를 이용하여 12 bit 해상도, 128Hz로 샘플링된다. 이렇게 디지털로 변환된 뇌파 데이터는 그림 3과 같은 신호처리 절차를 거친다.

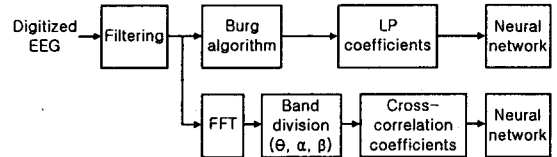


그림 3. 신호처리 블록선도

증폭기에 포함된 아날로그 저역통과필터는 차단 특성이 약하여 디지털로 잡음을 제거하기 위한 전처리 필터링을 한다. 또한 필터링된 신호에서 눈감빡임으로 인한 큰 진폭의 저주파 EOG 발생 부분을 제거한 나머지 부분들을 대상으로 뇌파 특징 파라미터를 추출한다. 이들 신호에 1초 길이(128개 샘플)의 Hamming window를 씌운다. 그리고 나서 6차의 Burg 알고리즘을 이용한 선형예측분석에서 예측기계수를 구하고, 한편으로는 같은 신호를 FFT 연산하여 식 (3)에 따라 θ, α, β 파의 뇌파 대역별 상호상관계수를 추출한다. 이와 같이 추출된 뇌파 특징 파라미터가 신경회로망에 입력되며, 신경회로망의 출력값이 가장 큰 노드를 인식된 감정으로 한다. 한편 신경회로망의 학습을 위해서는 4가지 감정상태에 대하여 추출된 뇌파 특징 파라미터들의 5개 프레임(frame)의 평균값을 이용하며, 학습률은 0.3으로 고정하였다. 패턴 분류 실험은 학습 단계에 이용된 프레임을 제외한 부분에서 수행된다.

2.3.2 결과 및 고찰

그림 4는 한 여학생 피검자로부터 검출한 4가지 감정상태에서 검출된 3초간의 뇌파 파형을 나타낸 것이다.

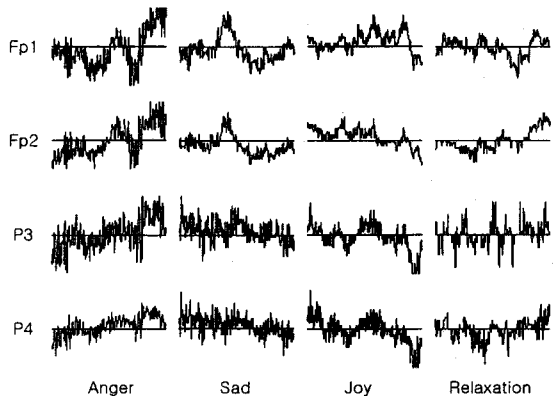


그림 4. 4가지 감정의 뇌파 파형의 예

Heller의 감정 모델에 따르면, 불쾌한 상태에서 쾌적한

상태로 가면 뇌의 좌측 앞부분이 활성화되고, 각성도가 높으면 우측 두정엽의 활성화가 높아진다고 한다(2). 그러나 이를 토대로 여러 곳의 평균전력을 계산해 보았으나, 뚜렷한 상관관계를 발견하지는 못하였다.

감정상태 분류의 최종 결과는 표 1에 정리하였다.

표 1. 감정상태 분류 실험결과

(a) 선형예측기계수를 이용한 결과

감정 \ 피검자	HIY	YJS	KYK	HSC
Anger	4/10	2/10	5/10	10/10
Sad	6/10	5/10	7/10	10/10
Joy	2/10	3/10	10/10	9/10
Relaxation	10/10	8/10	10/10	6/10
인식률(%)	55.0	45.0	80.0	75.0
평균인식률(%)	63.75			

(b) 상호상관계수를 이용한 결과

감정 \ 피검자	HIY	YJS	KYK	HSC
Anger	3/10	1/10	10/10	4/10
Sad	3/10	2/10	2/10	5/10
Joy	3/10	2/10	0/10	2/10
Relaxation	1/10	4/10	2/10	4/10
인식률(%)	25.0	20.0	35.0	37.5
평균인식률(%)	29.37			

표에서 보는 바와 같이, 선형예측기계수를 이용한 결과가 상호상관계수를 이용한 경우보다 인식률이 월등히 좋은 것을 알 수 있다. 본 실험 이전에 예비실험으로 원도위의 길이를 0.5초로 실험하였을 때 선형예측기계수를 이용한 결과는 비교적 양호한 결과(60%)가 나왔으나, 상호상관계수를 이용한 경우에는 전혀 인식이 되지 않았다. 이는 상호상관계수를 이용하는 경우 처리단위의 길이가 성능에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 또한 여학생인 두 피검자, HIY와 YJS의 인식률이 더 떨어짐을 알 수 있는데, 이는 HIY의 경우 데이터 수집 시간에 제약이 있었고, YJS의 경우 수면 부족과 실험시간의 부족이 겹쳐서 더욱 감정의 집중도가 떨어진 것으로 볼 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 분노, 슬픔, 기쁨, 안정의 4가지 감정 상태에 따른 뇌파를 수집하여 선형예측기계수와 θ , α , β 대역의 주파수 영역에서의 상호상관계수를 추출하여 이들을 특징 파라미터로 한 감정상태 분류 실험을 수행함으로써 두 방법의 감정상태 분류 성능을 비교해 보고자 하였다. 이를 위하여 연극동아리 소속 남녀 대학생 4인을 대상으로 4 위치에서 뇌파를 수집하였고, 패턴 분류기로는 신경회로망을 이용하였다.

실험을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다. 첫째, 감정분류에 있어서 뇌파의 특징 파라미터로서 선형예측기계수를 이용한 결과가 상호상관계수를 이용한 경우보다 인식률이 월등히 좋은 것을 알 수 있었다. 그러나 0.5초의 처리단위로 수행한 예비실험의 분류성능과 비교할 때 선형예측기계수를 이용한 인식률의 개선에 비해 상호상관계수에서 인식률이 더 크게 개선되므로 처리단위에 따라 성능의 차이가 있을 수도 있다. 둘째, 본 연구에서의 전극 위치를 선정할 때 감정의 연구에서 많이 이용되

는 위치와 Heller의 감정모델을 고려하여 결정하였으나 Heller의 감정모델과 일치하는 부분이 매우 적어서, 본 연구에서의 데이터의 경우에는 상관성이 거의 없음을 알 수 있었다.

본 연구는 감정 분류를 위한 뇌파분석의 여러 가지 실험 방법 중에서 간단히 접근할 수 있는 방법으로 수행하였음에도 비교적 고무적인 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 처리단위의 길이, 뇌파 전극수, 실험 조건과 파라미터 추출법의 개선 등을 통해 실험을 다양화하면 더욱 우수한 결과를 얻을 수 있을 것이라 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. Anderson, and Z. Sijercic, "Classification of EEG signals from four subjects during five mental tasks", Proc. Conf. Eng. Appl. Neur. Net., pp.407-414, 1996.
- [5] J. D. Markel, and A. H. Gray, Jr., *Linear Prediction of Speech*, Springer-Verlag·Berlin·Heidelberg·New York, 1980.
- [6] S. J. Orfanidis, *Optimum Signal Processing : An Introduction, 2nd ed.*, Macmillan Publishing Co., 1988.
- [7] H. Hinrichs, and W. Machleidt, "Basic emotions reflected in EEG-coherences", Intl. Journ. Psychophy., vol.13, pp.225-232, 1992.