

다중채널 뇌파와 신경회로망을 이용한 쾌적성 분류에 관한 연구

김흥환, 이상한, 강동기, 김동준, 고한우*
청주대학교 정보통신공학부, *한국표준과학연구원

A Study on Comfortableness Classification using Multi-channel EEG and Neural Network

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

School of Computer & Communication Eng., Chongju Univ.

*Korea Research Institute of Standards and Sciences

요 약

본 연구에서는 다중채널 뇌파에서 특징 파라미터로 선형 예측기 계수(Linear predictor coefficients)를 추출하고, 패턴인식기로는 신경회로망을 이용한 쾌적성 분류 알고리즘을 개발하여 다중 템플릿 방법으로 쾌적성 분류 실험을 하고자 하였다. 뇌파 데이터는 대학생 10명으로부터 쾌적한 환경과 불쾌적한 환경에서의 데이터를 수집하였으며, 전극 위치는 Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4, O1, O2를 사용하였다. 수집된 뇌파는 전처리를 거친 후 특징 파라미터를 추출하고 패턴 분류기로 사용된 신경회로망의 입력으로 사용하였다. 쾌적성 분류 방법은 다중템플릿 방법으로 여러 명의 피검자를 각각 학습시켜 이로부터 생성되는 신경회로망의 가중치들을 템플릿에 저장한다. 그리고 테스트를 할 때에는 먼저 처음의 안정 상태의 뇌파를 이용하여 템플릿 검색을 하고 가장 가까운 템플릿을 선택한다. 그리고 선택된 템플릿을 이용하여 다른 감정에 대한 쾌적성 분류 실험을 하게 된다. 쾌적성 분류 실험 결과 평균 인식률이 약 75%의 성능을 나타내었다.

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 연구자

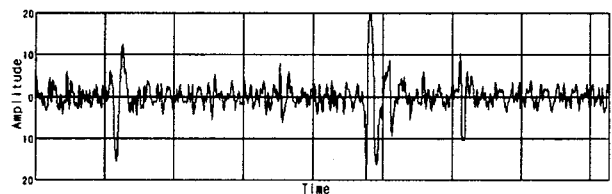
들이 이에 대한 연구결과를 발표하고 있다. 이런 감성에 대한 연구에서는 뇌파가 많이 이용하고 있다. 이는 뇌파가 두뇌 활동에 대한 방대한 정보를 포함하고 있으므로 적절한 신호처리 기법을 이용하면, 정신적 활동, 감정상태 등에 대한 많은 정보를 얻을 수 있기 때문이다. Musha 등은 ESAM (emotion spectrum analysis method)을 개발하여 감정을 정량화한 연구를 발표하였고[1], Yoshida는 앞쪽 2채널 뇌파의 알파 fluctuation을 이용하여 쾌적성과 각성도와의 상관관계를 연구하였으며[2], Davidson은 뇌파의 전력이 긍정 감성과 부정 감성에 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 다중채널 뇌파에서 선형예측기 계수를 추출하여 감성의 특징 파라미터로 이용하고, 신경 회로망을 이용한 쾌적성 분류 알고리즘을 개발하여 다중 템플릿 방법으로 쾌적과 불쾌적인 환경의 뇌파 데이터에 대한 쾌적성 평가를 하고자 하였다. 이를 위하여 뇌파 수집 시스템을 구축하였고, 쾌적한 소파와 불쾌적인 의자를 이용하여 대학생 10명의 뇌파를 수집하였다. 그리고 나서 디지털 필터링, 눈 깜박임 제거 등의 전처리 기법을 수행한다. 선형예측 분석의 신호처리 기법을 개발하였고, 신경 회로망을 토대로 한 감성 평가 알고리즘을 개발하였다.

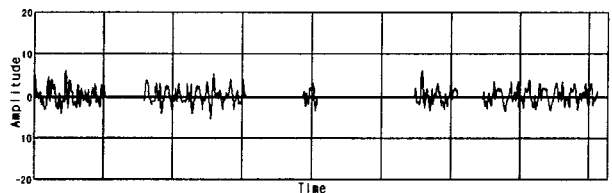
2. 뇌파 신호처리 및 파라미터 추출

뇌파 신호는 수십 μV 정도의 전압으로 나타나는 미약한 신호이므로 외부의 잡음과 아티팩트에 매우 민감하다. 따라서 뇌파 파라미터 추출에서 불필요한 저주파 성분을 제거하기 위하여 0.5Hz와 4Hz의 차단 주파수를 갖는 고역통과필터(high pass filter, HPF)를 4차 IIR로 구현하였다. DC 성분만 차단할 경우에는 0.5Hz를 사용하였고, 뇌파에서 δ 밴드를 제거하고자 할 때

는 4Hz를 선택하였다. 감성 연구에서 보통 30Hz 이상의 성분은 불필요하므로 차단주파수가 30Hz인 저역통과필터(low pass filter, LPF)를 4차 IIR로 구현하여 사용하였다. 뇌파 신호에서 가장 큰 아티팩트인 눈깜박임을 제거를 위한 기법은 먼저 눈 깜박임 신호와 순수뇌파를 구별해 내기 위한 문턱값을 구하였다. 이는 읽어들이는 데이터의 전체길이에 걸쳐서 그것의 평균을 계산한 다음 평균값에 4배를 곱한 값을 문턱값으로 정하였다. 그리고 눈 깜박임 부분을 찾기 위해서 먼저 눈 깜박임 부분의 피크값을 검출한다. 이를 위하여 읽어들이는 데이터를 절대값으로 바꾼 후에, 각각의 포인트에서 기울기 부호를 검색한 다음, 현재 포인트를 기준으로 뒤로 2포인트에서의 기울기가 +, 앞으로 2포인트에서의 기울기가 -인 지점을 찾는다. 그리고 그 피크가 순수뇌파의 피크인지 아니면 눈 깜박임 신호의 피크인지 구별하기 위해서 그 피크값을 문턱값과 비교한다. 만약에 그 지점에서의 피크값이 문턱값보다 크다면 눈 깜박임 신호로 간주하고, 눈 깜박임 신호가 끝나는 지점을 찾기 위해서는 눈 깜박임 피크 지점에서부터 부호가 두 번 바뀌는 지점을 찾는다. 이 위치를 눈 깜박임의 끝으로 볼 수 있지만, 남아있는 과도성분의 영향을 고려하여 눈 깜박임 신호의 평균 구간인 32포인트를 더 건너뛴 지점을 새로운 뇌파 처리를 위한 시작점으로 설정한다.



(a) 눈깜박임이 포함된 파형



(b) 눈깜박임 제거 파형

그림 1. 눈깜박임 제거 실험 결과

그림 1은 개발된 알고리즘을 적용하여 눈깜박임 신호를 제거한 파형을 나타내고 있다. 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 2와 같이 나타낼 수 있다.



그림 2. 선형 뇌파 발생 모델

이 모델은 z -변환 형태로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

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

따라서 뇌파 신호의 분석 모델은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있을 것이다.

$$E(z) = S(z) A(z) \quad (3)$$

뇌파 신호의 분석 모델은 표본화된 데이터 영

역, 즉 시간 영역에서 식 (2)를 이용하면, 역 z -변환되어 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} e(n) &= \sum_{i=0}^M a_i s(n-i) \\ &= s(n) + \sum_{i=1}^M a_i s(n-i) \quad (4) \\ &= s(n) - \hat{s}(n) \end{aligned}$$

여기서,

$$\hat{s}(n) = - \sum_{i=1}^M a_i s(n-i) \quad (5)$$

이다. 본 연구에서는 선형예측 분석을 위하여 6차의 Burg 알고리즘을 이용한다[5, 6].

3. 쾌적성 분류 알고리즘

뇌파 신호처리를 통해 추출된 감성 특징 파라미터는 다음 단계에서 다층인식자(multi-layer perceptron) 구조의 신경회로망을 이용한 패턴 분류기를 구성하여 쾌적성을 분류한다. 그림 3은 구성된 다층 인식자 형태의 쾌적성 분류기를 나타낸 것이다.

신경 회로망은 입력층(input layer)의 노드(node) 수가 60개(6차×10채널), 은닉층(hidden layer)의 노드 수가 60개, 그리고 출력의 노드 수는 3개로 하는 60-60-3의 구조를 갖게 구성하여 안정(relaxation), 쾌적 및 불쾌적에 대한 값을 출력하게 된다. 본 연구에서는 이와 같은 신경회로망을 이용하여 쾌적성 분류를 하게 되는데, 여러 피검자에게 적용될 수 있는 피검자 독립(subject independent) 시스템을 구현하기 위하여 여러 개의 템플릿을 가지고 가장 근사한 템플릿을 이용하여 패턴 분류를 수행하는 다중 템플릿(multiple template) 방법을 이용하였다.

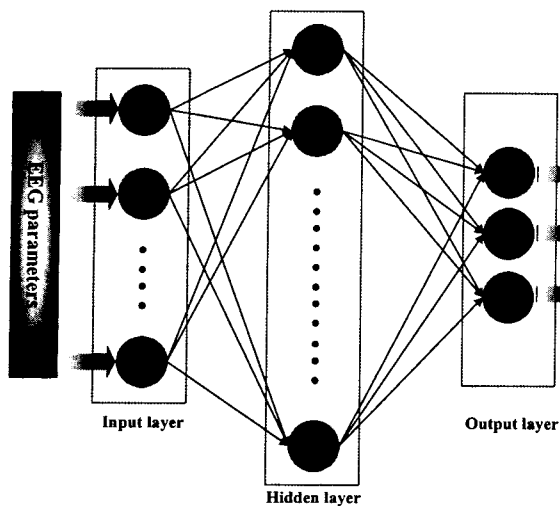


그림 3. 신경 회로망의 구조

즉, 여러 명의 피검자의 뇌파를 학습시켜 생성된 신경회로망의 가중치를 템플릿으로 저장해 두고, 쾌적성 분류 테스트를 할 때에는 초기의 안정 상태의 뇌파를 이용하여 가장 유사한 뇌파의 템플릿을 선택하여 패턴을 분류한다. 그림 4는 다중 템플릿 방법을 이용한 쾌적성 분류 알고리즘을 나타낸 것이다.

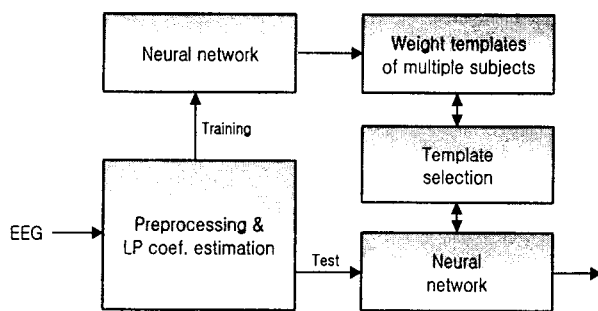


그림 4. 쾌적성 분류 알고리즘

이러한 다중 템플릿 방식은 가장 초기 안정 상태의 뇌파를 기준으로 가장 근사한 뇌파의 가중치 템플릿을 선택하므로 안정 상태의 뇌파로의 치우치는 현상을 피할 수 없을 것이다. 이는 실제 현상으로 나타나서 이를 보완하기 위해 신경회로망 출력의 가장 큰 값과 두 번째 큰 값을 가지고 최종 분류 결과를 결정한다. 즉, 안정 상태의 뇌파를 테스트할 때에는 가장 큰

값이 해당 노드에서 나타나야 인식된 것으로 하고, 그 외의 감성은 해당 노드가 가장 큰 값으로 나타날 때만 인식된 결과로 보는 것이 아니라 두 번째 큰 값이 해당 감성의 노드에 나타나면, 이 때의 최고 값 노드가 안정으로 나타나는 경우에 한해서는 제대로 인식된 것으로 간주한다. 이것은 감성의 집중성이 약해진 부분은 안정 상태와 유사할 것이라고 가정하였기 때문이다.

4. 실험 및 결과 고찰

뇌파 데이터 수집 시스템은 전극 캡 (electro-cap), EEG 증폭기, A/D 변환기, PC로 구성되어 있다. 피검자의 두피로부터 전극 캡을 통해 검출된 뇌파는 이득 2000의 EEG 증폭기로 증폭되고, 증폭된 뇌파는 128Hz의 샘플링 주파수와 12bit의 해상도로 A/D 변환되고, 변환된 신호는 노트북이나 데스크탑 PC에 의해서 처리된다. 이 때 전극 캡은 미국 Electro-cap International사의 20채널 전극 캡을 사용하였고, EEG 증폭기는 (주)정상테크노사의 증폭기를 사용하였다. A/D 변환기는 미국 Data Translation사의 DT-9804를 사용하였다. 전극의 위치는 Musha가 제시한 10채널(Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4, O1, O2)로 하고[1] 뇌파 데이터 수집은 대학생 10명을 대상으로 하였다. 이 때 사용한 task는 쾌적한 소파와 매우 불편한 간이 의자를 이용하여 피검자가 불쾌적 또는 쾌적의 상태를 느낄 때의 뇌파를 기록 하였다. 전처리 과정을 거친 뇌파를 선형예측기 계수를 이용하여 신경 회로망을 학습시켜서 다중 템플릿 방법으로 쾌적성 분류를 하게 된다. 표 1은 본 연구에서 구성한 방법에 의해 쾌적성 분류 실험을 수행한 결과이다.

표 1. 쾌적성 분류 인식을

(단위 : %)

피검자	선택된 템플릿	R	C	U	평균
chs2002.01.18	kdj2002.02.04	95	100	2.50	65.83
chs2002.02.01	kdj2002.02.04	97.50	100	15	70.83
chs2002.02.05	kdj2002.02.04	92.50	100	0	64.16
cjh2002.01.10	kdj2002.02.04	97.50	70	80	82.50
cjh2002.01.24	kdj2002.02.04	92.50	97.50	90	93.33
cjh2002.02.14	kdj2002.02.04	100	95	30	75.00
hiy2002.01.09	kdj2002.02.04	60	95	12.50	55.83
hiy2002.01.23	yyh2002.01.03	72.50	52.50	80	68.33
hiy2002.02.06	hiy2002.01.09	22.50	82.50	92.50	65.83
hsc2001.12.27	yyh2002.01.03	97.50	100	45	80.83
hsc2002.01.16	yyh2002.01.03	92.50	97.50	95	95.00
hsc2002.02.01	hsc2001.12.27	90	40	100	76.66
kdj2002.01.29	kdj2002.02.04	80	95	97.50	90.83
kdj2002.02.04	mkc2002.01.08	55	2.50	100	52.50
kdj2002.02.07	kdj2002.02.04	95	85	95	91.66
kjh2002.01.07	kdj2002.02.04	60	92.50	62.50	71.66
kjh2002.01.14	yyh2002.01.03	77.50	92.50	100	90.00
kjh2002.01.31	yyh2002.01.03	52.50	52.50	92.50	65.83
ksw2002.01.11	kjh2002.01.07	97.50	92.50	82.50	90.83
ksw2002.01.28	kdj2002.02.04	97.50	100	0	65.83
ksw2002.02.15	hsc2001.12.27	92.50	85	97.50	91.66
mkc2001.12.28	ksw2002.01.11	100	97.50	55	84.16
mkc2002.01.08	kdj2002.02.04	97.50	100	2.50	66.66
mkc2002.01.21	kdj2002.02.04	87.50	95	2.50	61.66
nkj2002.01.17	hsc2001.12.27	97.50	75	92.50	88.33
nkj2002.01.22	hsc2001.12.27	92.50	90	40	74.16
nkj2002.02.19	hsc2001.12.27	95	85	50	76.66
yyh2002.01.03	hsc2001.12.27	72.50	5	100	59.16
yyh2002.01.15	hsc2001.12.27	75	5	100	60.00
yyh2002.01.30	yyh2002.01.03	90	47.50	87.50	75.00
평균		84.16	77.58	63.33	75.0
					2

5. 결 론

본 연구에서는 쾌적/불쾌적인 환경하에서 뇌파를 수집하여 선형예측기 계수를 특징 파라미터로 하고, 신경 회로망을 이용한 감성 분류 알고리즘을 구성하였으며, 다중템플릿 방법을 이용하여 쾌적성 분류 실험을 수행하였다.

실험을 통해서 얻어진 결론은 다음과 같다. 첫째, 본인의 당일 데이터를 제외한 다른 템플릿들을 이용한 다중 템플릿 방식의 쾌적성 분류 실험 결과, 약 75%의 인식률을 나타내어 신호의 특성 변화가 매우 큰 뇌파에서도 피검자 독립적인 평가의 가능성을 확인하였다. 둘째, 테스트시 안정 상태의 뇌파를 이용하여 안정 상태의 템플릿과 비교하여 가장 근사한 템플릿을 선택하므로 신경회로망 출력이 안정 상태로

치우치는 경우가 많이 발생하지만, 두 번째 큰 값을 갖는 노드는 해당 감성에 근사하게 일치됨을 알 수 있었다. 이는 안정 상태 뇌파와 가장 근사한 템플릿을 선택하므로 나타나는 바이어스(bias)일 수도 있고, 피검자의 감성 집중도가 약해져서 나타나는 현상일 수도 있다. 그러나 신경회로망의 출력은 이러한 감성간의 변화 추이를 나타내고 있을 것이므로 적절한 후처리 기법이 개발되면 감성 평가 기법의 한 방식으로 활용이 가능할 것이다.

※ 본 연구는 G-7 감성공학기반기술개발사업에 의해 지

원되었음(M1-9817-03-0001).

[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-Verlag

- Berlin Heidelberg New 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, and 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, and 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.