

RCSP filtering 방식을 통한 뇌파기반의 선호도 인식 시스템의 성능 향상에 대한 연구

신사임*, 이종설*, 장세진*, 김성동**, 김지환***
 *전자부품연구원 스마트미디어연구센터
 **전자부품연구원 AR/VR 연구센터
 ***서강대학교 컴퓨터공학과
 e-mail : mirror@keti.re.kr

A Study on EEG Preferences Classification Performances Applying Preprocessing of Regularized Common Spatial Pattern Filters

Saim Shin*, Jong-Seol Lee*, Sei-Jin Jang*, Seong-Dong Kim**, JiHwan Kim***
 *Smart Media Research Center, Korea Electronics Technology Institute
 **AR/VR Research Center, Korea Electronics Technology Institute
 **Dept. of Computer Engineering, Sogang University

요 약

본 논문은 뇌파 기반 감정 분류 기술의 상용화를 위한 낮은 성능을 보완하기 위하여 Regularized Common Spatial Pattern 필터링을 통한 전처리 방식을 제안하고 있다. RCSP 필터는 뇌파 기반 행동 인식 시스템에서 높은 성능 향상을 보이는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 장기적이고 복잡한 뇌파의 감성 인지 연구에도 RCSP 필터의 적용 방법을 설명하고, 제안하는 알고리즘이 뇌파를 통한 감정 인식에 성능 향상을 보여준다는 것을 설명하고 있다.

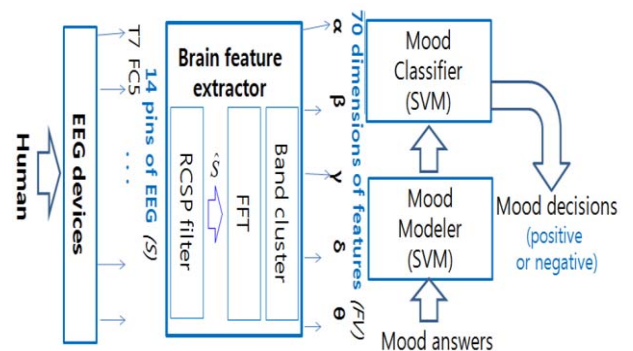
1. 서론

RCSP 필터링은 다채널 신호 취득 환경에서 신호별 연관성을 학습하여 중요한 패턴을 강화하고 노이즈를 약화시키는 것이 가능한 공간 필터의 한 종류이다. RCSP 방식은 단기적 뇌파의 패턴 변화를 인식하는 뇌파 기반 행동인지 연구에서 높은 성능 향상에 기여했다고 알려져 있다. 본 연구에서는 증장기 복합 패턴을 인식해야 하는 뇌파 기반의 감정 및 선호도의 인식 연구를 위한 전처리 필터링 방식을 제안하고, 제안하는 방법이 유의미한 성능 향상을 보임을 실험을 통해 증명하고자 한다. RCSP 필터는 뇌파에서 지엽적으로 발생하는 노이즈를 다채널 뇌파 간의 연관성 정도를 학습으로 파악하여 보완하는 지도식 공간 필터의 한 종류로, 뇌파 기반 행동 인식 시스템에서 높은 성능 향상을 보이는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 장기적이고 복잡한 뇌파의 감성 인지 연구에도 RCSP 필터의 적용 방법을 설명하고, 제안하는 알고리즘이 뇌파를 통한 감정 인식에 성능 향상을 보여준다는 것을 설명하고 있다.

2. EEG 기반 선호도 분류 알고리즘

그림 1은 논문에서 제안하는 EEG 신호를 활용한 감정 인식 시스템의 구조를 보여주고 있다. 본 연구에서는 상용화에 가까운 장비로 시스템 성능을 평가하기 위하여 무선 환경 14 채널의 EEG 취득을 지원하는 무선 장비인 Emotiv EPOC을 사용하여 데이터를

추출하고 시스템을 구축하였다 [1]. 특징정보 추출기 (Brain feature extractor)에서는 Emotive 장비에서 보내오는 14 채널 EEG 신호들로부터 감정 분류 모델링에 적합한 뇌 특징 정보를 추출해 내는 모듈이다.



(그림 1) EEG 신호 기반 선호도 분류 시스템 구성

뇌 정보 특징 추출기 내부의 RCSP 필터는 본격적인 특징 추출 수행 전의 전처리 단계로 제안되었다. 추출된 다채널 EEG 신호들은 뇌 내부에서 발생하는 미량의 전기 신호가 대뇌 피질을 통과하여 두개골 상으로 전달되는 신호들을 다양한 위치에서 취득하는 방식이기 때문에, 위치 별 EEG 신호 사이에 공간적 활동 연관성이 존재할 수 있다. RCSP 필터는 이들 신호 사이의 위치 별 신호의 연관성을 수학적으로 추정하고 필터로 도출하여 신호들의 전처리 단계의 정규화에 활용함으로써, EEG 신호 취득 과정에서 초기 신호의 오류를 완화하기 위한 방법이다 [2].

이 논문은 2015년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 ICT R&D 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 14-824-10-011).

뇌 특질추출기는 해당 표현 범위에서 이러한 영역으로부터 에너지 스펙트럼을 추출하여 정규화된 공통 공간 패턴 필터를 전처리를 수행한 후에, 14개의 EEG 신호 데이터를 8초 단위 윈도우로 잘라서 각각 데이터를 고속 푸리에 변환 (FFT: Fast Fourier Transform) 방법으로 대역 별 특질 정보 추출을 위한 주파수 도메인으로의 변환을 수행한다 [3]. 추출한 연속적인 EEG 신호를 512점 고속 푸리에 변환을 수행하고, 이산 특질 정보 추출용 기본 단위의 크기는 8.7ms의 이동 추기를 가진 8초의 신호 길이로 단위를 정하였다. 본 시스템의 특질추출기는 주파수 단위로 표현된 뇌파를 주파수와 진폭에 따라 에너지 스펙트럼 단위 5개 영역으로 분리 추출하여 분석하였다.

제안하는 뇌파기반 감정 시스템의 특질 추출을 위해 수행하는 알고리즘을 수식으로 설명한 내용은 아래와 같다. p 와 t 는 기본 단위 길이로 추출된 각각의 EEG 신호를 채널 번호와 시간 순서로 정의하기 위한 인덱스 단위이다. $E_{\delta(t,p)}$ 는 p 번째 전극으로부터 추출한 t 번째 세그먼트의 δ 과 에너지의 합을 의미한다. fv_t 는 14채널의 t 번째 세그먼트에서 추출하여 각 에너지 대역으로 에너지를 수치화한 분포를 벡터화한다.

$$FV = \{fv_1, \dots, fv_t, \dots, fv_T\}$$

$$fv_t = (E_{\theta(t,1)}, E_{\alpha(t,1)}, E_{\beta(t,1)}, E_{\gamma(t,1)}, E_{\delta(t,1)}, \dots,$$

$$E_{\theta(t,14)}, E_{\alpha(t,14)}, E_{\beta(t,14)}, E_{\gamma(t,14)}, E_{\delta(t,14)}) \quad (1)$$

3. RCSP 필터 기반 EEG 신호 잡음 보완 알고리즘

정규화된 공통 공간 패턴 필터의 추출 방법은 다음과 같다. S_i 는 EEG 신호의 채널이 행을 구성하고 시간 순으로 나열된 신호가 열을 구성하는 행렬로, 분류하는 클래스 집합 I 의 요소 중 하나의 클래스인 i 로 분류된 EEG 신호들의 행렬을 의미한다. S_i 의 평균 공간 공분산 행렬은 $C_i, i \in \{1, 2\}$ 에 의해 표현될 수 있는데, 본 논문은 감정 분류 모델에 필터 추출 방식을 활용하기 위해 i 에 대한 두 개의 클래스를 긍정과 부정으로 매칭하여 적용하였다. 일반화된 공통 공간 패턴 추출 방식으로 추출되는 공간 필터 \hat{w} 는 필터를 적용한 후의 신호의 변이 결과가 하나의 클래스의 분산이 최대이고 다른 클래스의 분산을 최소로 만드는, 즉 두 신호의 변환 결과의 차이를 최대로 만드는 w 를 추출하여 정의하고 있다 [2].

위의 최대치 문제는 고유치 문제 (Eigenvalue problem)를 통해 해결한다. 최대 고유치에 상응하는 w 의 고유벡터는 방향벡터 w 이다. w 는 S_i 에 대한 공간 필터로 정의되고, w^{-1} 는 S_i 에 대한 공통 공간 패턴으로 정의된다. 정규화된 공통 공간 패턴 도출 방식은 도출된 행렬에 의한 과학습 경향을 약화시키기 위해 정규화 파라미터를 적용하면서 수식의 변이를 적용하고 보완하여 공간 필터를 도출하며, 본 연구에서는 Tikhonov Regularization CSP 추출 방식으로 전처리 필터를 추출하였다 [4].

$$\hat{w}_I = \arg \max_w \left(\frac{w^T \tilde{C}_1 w}{w^T \tilde{C}_2 w + \alpha w^T I w} \right) \quad \text{with } \tilde{C}_i = (1 - \beta)C_i + \beta I \quad (2)$$

\tilde{C}_i 는 수식으로 정규화된 C_i 이고, I 는 행과 열의 크기가 N 과 N 인 단위행렬을 의미한다. α 와 β 는 0과 1에서 사용자가 정의한 정규화 계수이다. 이렇게 도출할 수 있는 \hat{w}_I^{-1} 가 S_i 를 위한 정규화된 공통 공간 패턴으로 추출된다. 본 식은 지도식 필터의 도출 과정에서 사용한 학습 데이터에 이상점에 의한 영향을 제한하도록 설계한다. 정규화된 공통 공간 패턴 방법을 통하여 도출한 전처리 필터는 입력 EEG 신호 데이터인 S_i 를 투영하여 보완하는 과정을 수행한다.

$$\hat{S}_i = \hat{w}_I^{-1} S_i \quad (3)$$

4. 실험 결과

DEAP [5]과 연구를 위해 구축한 KETI EEG 데이터 두 종류의 데이터 집합을 통한 제안하는 EEG 기반 선호도 분류 알고리즘의 성능 평가에 대한 실험 결과를 설명한다. 본 논문에서 제안하는 정규화된 공통 공간 패턴 전처리 방식이 뇌파를 통한 감정 분류 시스템의 성능 향상에서도 괄목할만한 성능 향상에 기여한다는 것을 알 수 있다. 또한, 정규화된 공통 공간 패턴 필터를 적용한 감정 분류 시스템이 32 채널 EEG 데이터를 통한 모델링 결과 뿐 만 아니라, 14 채널 데이터에서도 일관된 성능 향상 결과를 보인다는 것은 이 방법이 EEG 채널 수가 상대적으로 적은 상용 EEG 장비들을 위한 시스템에도 적용할 수 있는 방법임을 보여주었다.

<표 1> 실험 결과

Data	System	Feature	Accuracy(%)
DEAP	SVM	14-pin	65.63
	RCSP-SVM	14-pin	80.00
	EU FP7 PetaMedia	32-pin+additional features	70.25
KETI EEG	SVM	14-pin	81.07
	RCSP-SVM	14-pin	83.02

참고문헌

- [1] "Emotiv software development kit - user manual for release 1.0.0.4," *Emotiv*, 2011.
- [2] H.Lu, H. Eng, C. Guan, K. Plataniotis, and A. Venetsanopoulos, "Regularized common spatial pattern with aggregation for EEG classification in small-sample setting," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 57, no. 12, pp. 2936-2946, 2010.
- [3] M. Shaker, "EEG waves classifier using wavelet transform and Fourier transform," *International Journal of Medical, Health, Biomedical and Pharmaceutical Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 163-168, 2007.
- [4] F. Lotte, C. Guan, "Regularizing common spatial patterns to improve BCI designs: unified theory and new algorithms," *IEEE Transactions on biomedical engineering*, vol. 58, no. 2, pp. 355-362, 2011.
- [5] S. Koelstra, C. Muehl, M. Soleymani, J. Lee, A. Yazdani, T. Ebrahimi, T. Pun, A. Nijholt, and I. Patras, "DEAP: a database for emotion analysis; using physiological signals," *IEEE Trans. Affective Computing*, vol. 3, no. 1, pp. 18-31, 2011.