

EEG 기반 BCI 시스템을 위한 Discriminative Filter Bank CSP의 개선된 필터 선택 기법

박근호, 이유리, 김형남
부산대학교 전자전기컴퓨터공학과
e-mail : fot97311@pusan.ac.kr, leeyuri@pusan.ac.kr, hnkim@pusan.ac.kr

Improved Filter Selection Method for Discriminative Filter Bank CSP in EEG-based BCI system

Geun-Ho Park, Yu-Ri Lee, Hyoung-Nam Kim
Pusan National University

Abstract

본 논문에서는 Discriminative Filter Bank Common Spatial Pattern (DFBCSP) 시스템에서 운동 상상에 따른 EEG 신호의 전력 차이를 이용하여 필터 개수를 유동적으로 변화시켰다. 각 필터의 t-test에 따른 p-값이 일정한 유의 수준(Significance level)보다 작은 값일 때 필터를 선택하였다. 모의실험 결과 4명의 피실험자에 대해 평균적으로 4.75% 분류 정확도 상승을 확인하였다.

I. 서론

뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain-Computer Interface, BCI)는 컴퓨터의 입력장치인 키보드나 마우스를 사용하지 않고, 사람의 의도나 상태를 뇌를 통해 바로 컴퓨터로 전달하는 시스템을 의미한다. BCI 시스템은 뉴런의 활동에 의해 발생하는 전위인 뇌파(Electroencephalogram, EEG)를 이용한다. EEG는 비교적 측정이 용이하여 BCI 시스템의 다양한 응용 분야에 적용하기에 적합하다. 특히, 운동 상상(Motor Imagery)의 EEG 특성을 이용하여 피실험자의 의도를 구분하는 연구가 활발하다 [1].

운동 상상을 해독(Decoding)하는 BCI 시스템을 설계할 때 해결해야 할 여러 가지 문제들이 있다. 첫 번째, EEG의 특성은 개인별 차이가 존재한다. 따라서 EEG 분석을 위해 주파수 축 분석이 필요하다. 두 번째, EEG는 머리 두피 전도도(Conductivity)로 인한 낮은 공간 분해능(Spatial resolution)을 가진다. 따라서 다채널 EEG 측정 환경에서 특정 전극에서 발생한 특성 신호의 해석이 왜곡될 수 있다. 낮은 공간 분해능을 해결하기 위해 EEG 신호의 공간 필터링이 필요하다.

BCI 시스템에서는 EEG 신호의 특성을 활용하고, 공간 필터링을 위한 효과적인 방법으로 Common Spatial

Pattern (CSP)이 사용되고 있다 [1]. 하지만 CSP는 EEG 신호의 시간 표본에 대한 신호를 분석하기 때문에 BCI 시스템의 성능 향상은 주파수 대역 선택에 따라 크게 좌우된다. 기존 연구에서는 적절한 주파수 대역 선택을 위한 방법으로서 Discriminative Filter Bank CSP (DFBCSP)가 제안되었다 [2].

DFBCSP는 피실험자에 따른 EEG 신호의 차이를 해결하기 위해 EEG 신호의 주파수별 전력 분석을 이용하여 특징적인 주파수 대역을 찾는 알고리즘을 적용하였다. DFBCSP는 Fisher ratio를 이용해 주파수 대역을 찾고 필터 개수를 고정하여 특성 차원(Feature dimension)이 일정하지만, 본 논문에서는 t-test를 이용하여 의미 있는 주파수 대역을 찾고 필터 개수를 유동적으로 조절하여 BCI 시스템의 성능을 향상하는 방법을 제안한다.

II. 본론

본 장에서는 EEG BCI 시스템의 주파수 대역 선택을 위한 방법으로 제안된 DFBCSP에 대해서 다룬다.

2.1 Discriminative Filter Bank CSP (DFBCSP)

DFBCSP는 EEG신호의 6-32Hz에 해당하는 4Hz 대역폭(Bandwidth)의 필터 12개를 설계한다. 두 종류의 운동 상상을 $c \in [l, r]$ 이라 하고, k 번째 필터를 통과한 EEG 신호를 $X_{c,k}[n]$ 이라 하면 각 주파수 대역에 해당하는 EEG 신호의 전력은 식 (1)과 같다.

$$P_{c,k} = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^T X_{c,k}[n] \quad (1)$$

운동 상상의 N 번 시행에 대한 $P_{l,k}$ 와 $P_{r,k}$ 의 평균과

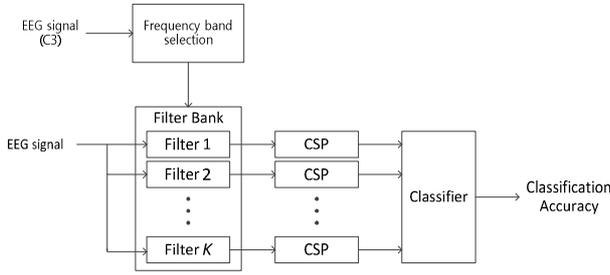


그림 1. DFBCSP의 블록도

분산을 이용해 Fisher ratio를 구할 수 있다. 각 주파수 대역별 $F_{c,k}$ 의 상대적인 비교를 통해 $F_{c,k}$ 를 내림차순으로 정렬하고 적당한 필터를 선택할 수 있다. 기존의 DFBCSP는 네 개의 고정된 필터 개수를 사용했다.

2.2 t-test [3]

t-test는 통계적 가설 검증 방법 중 하나이다. 주로 두 표본집단의 표본평균이 같은 모집단의 모평균인지 판단하는 데 사용된다. 먼저, 두 표본평균이 하나의 모집단에서의 모평균과 같을 것이라고 가정하는 영가설(Null hypothesis)를 세운다. 그 다음 검정통계량(Test statistic)을 계산하고, 자유도(Degree of freedom)에 따른 student's t-분포에서의 유의확률(p-값)을 구한다. $p < 0.01$ 이면 영가설을 기각(Reject)하고 $p > 0.01$ 이면 영가설을 기각하지 않는다. 일반적으로, 유의 수준(Significance level)은 0.01 혹은 0.05를 사용하는데 모의실험에서는 유의 수준을 0.01로 설정했다.

2.3 t-test를 이용한 DFBCSP

제안한 t-test를 이용한 DFBCSP는 각 필터의 운동 상상에 따른 추정 전력의 검정통계량을 통해 p-값을 계산하고 $p < 0.01$ 인 필터를 모두 선택하여 유동적으로 필터 개수를 변화시켰다. 운동 상상에 따른 추정 전력의 표본분포 분산이 서로 같다고 가정할 수 없으므로 Welch's t-test를 사용하였다. i^{th} 표본평균, 표본분산, 표본크기를 각각 \bar{X}_i , s_i^2 , N_i 라 하고 $\nu_i = N_i - 1$ 이라 하면 Welch's t-test의 검정 통계량과 자유도는 각각 식 (2)와 식 (3)과 같다.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{(s_1^2/N_1) + (s_2^2/N_2)}} \quad (2)$$

$$\nu = \frac{\left(\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2} \right)^2}{(s_1^4/N_1^2\nu_1) + (s_2^4/N_2^2\nu_2)} \quad (3)$$

III. 실험 결과

EEG 신호는 BCI competition III dataset IVa [4]를

사용하였다. 실험은 5명의 피실험자(aa, ay, av, aw, ay)에 대해 오른손과 오른발의 운동을 상상하는 것으로 총 280번 진행되었다. 모의실험에서 사용된 EEG 전극은 F3, F4, C3, Cz, C4, P3, P4 이다.

분류기(Classifier)는 Support Vector Machine (SVM)을 이용하여 분류 정확도를 분석하였다. 신뢰도 높은 BCI 시스템 성능 분석을 위해 10×10-fold cross validation 방법으로 모의실험을 하였다 [2].

모의실험 결과 피실험자 al을 제외하고 네 명의 피실험자의 분류 정확도가 향상되었다. 기존의 DFBCSP와 비교해서 aa와 ay는 필터 수가 증가했고, av와 aw는 필터 수가 감소했다.

표 1. DFBCSP와 제안된 DFBCSP의 성능 비교

피실험자	분류 정확도(%)			
	DFBCSP	필터 개수	제안된 DFBCSP	필터 개수
aa	82.54	4	87.40	5.35
al	93.11	4	93.14	11
av	57.83	4	64.89	2.89
aw	83.68	4	87.00	1.05
ay	92.25	4	96.00	6.74

IV. 결론

본 논문에서는 운동 상상에 따른 각 필터의 t-test를 이용해 필터 개수를 유동적으로 변화시켰다. 그 결과, 다섯 명의 실험자 중에서 네 명의 피실험자에 대해 평균적으로 4.75%의 성능 향상을 확인하였다. 제안한 DFBCSP는 개인 맞춤형 BCI 시스템 연구에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2012R1A1A2008555)

참고문헌

- [1] G. Pfurtscheller, et al. "Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles," *Electroenc. Clin. Neurophys.*, vol. 99. pp. 416-425, 1996.
- [2] Kavitha P. Thomas, et al. "A New Discriminative Common Spatial Pattern Method for Motor Imagery Brain-computer Interfaces," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 56, no. 11, pp. 2730-2733, Nov, 2009.
- [3] Welch, B. L. (1947). "The generalization of "Student's" problem when several different population variances are involved". *Biometrika* 34 (1 - 2): 28 - 35.
- [4] Benjamin Blankertz, et al. "The BCI competition III: Validating alternative approaches to actual BCI problems," *IEEE Trans Neural Sys Rehab Eng*, 14(2):153-159, 2006. [pdf]