

뇌전도 신호 분석을 위한 특징신호 추출 알고리즘

이승찬, 신영학, Kim Evgenii, 이흥노*
광주과학기술원 정보통신공학과

{seungchan, shinyh, evgenii, heungno}@gist.ac.kr

The Feature Extraction Algorithm for Analyzing EEG Signals

SeungChan Lee, YoungHak Shin, Evgenii Kim, Heung-No Lee*
Gwangju Institute of Science and Technology
School of Information and Communications

요약

뇌-컴퓨터 접속기술에서 많이 사용되는 뇌전도 신호는 잡음성분이 많고 특징신호 성분은 제한된 시간과 주파수 대역에서만 나타나기 때문에 신호의 분류가 쉽지 않다. 본 논문에서는 뇌전도 신호의 분류 정확도 향상을 위해 r^2 값과 ERSP 알고리즘을 이용한 특징신호 추출 알고리즘 비교 분석해보았다. 8 명의 피실험자 뇌전도 신호들로부터 판별 정확도를 비교해 본 결과 r^2 값을 이용한 특징신호 추출 알고리즘이 평균적으로 가장 좋은 성능을 보여주었다.

I. 서론

뇌전도 신호(EEG: Electroencephalography)를 분석하여 사람의 의도 및 행동 등을 컴퓨터나 외부 장치에 전달 할 수 있는 뇌-컴퓨터 접속기술(BCI: Brain Computer Interface)은 최근 많은 연구성과들이 발표되고 있다. 대표적인 연구결과로 사람의 운동감각과 관련된 뇌전도 신호(SMR: Sensorimotor rhythms)를 이용하여 컴퓨터의 커서를 제어하는 BCI 시스템을 들 수 있다.[1] BCI 시스템이 피실험자의 의도에 따라 잘 동작하기 위해서는 훈련 지시에 따른 뇌전도 신호의 패턴을 BCI 시스템이 잘 분류할 수 있어야 한다. 그렇지만 뇌전도 신호는 잡음성분을 많이 포함되어 있고 지시조건에 따라 차이가 나타나는 특징 신호 성분은 일부 시공간적 범위와 주파수적 대역으로 제한되어 있어 지시조건을 정확히 판별하는 것은 쉽지 않다.

본 논문에서는 뇌전도 신호의 시간과 주파수대역 특징신호 성분을 r^2 값[2]과 ERSP(Event Related Spectral Perturbation)[3]를 이용하여 추출해보고 지시조건 분류의 정확도를 비교, 평가해보았다.

II. 본론

1. 연구 동기

BCI 실험은 일반적으로 훈련, 오프라인 분석, 온라인 실험 3 단계로 이루어져 있다. 이 중에서 오프라인 분석과정은 훈련과정에서 기록된 뇌전도 신호 분석하여 온라인에서 BCI 시스템이 피실험자의 의도를 잘 분류할 수 있도록 시스템을 학습시키는 과정이다.

이 과정에서는 훈련과정에서 기록된 뇌전도 신호를 시간, 공간, 주파수 영역에서 분석하여 신호 분류에 도움이 되는 특징신호 성분(피실험자의 의도를 반영하여 훈련지시에 따라 신호의 차이를 보이는 뇌전도 신호의 성분)을 추출(Feature extraction)하게 된다. 뇌전도

신호는 잡음성분이 많고 일부 제한된 특징신호 성분만이 신호분류에 유의미하게 작용하기 때문에 이런 차원축소과정 (Dimension reduction)은 필수적이다.

본 논문에서는 시간과 주파수 대역의 특징신호 성분을 r^2 값과 ERSP 알고리즘을 사용하여 추출해보고 이런 차원축소과정이 뇌전도 신호 분류 정확도 향상에 도움이 되는지 알아보려고 한다.

2. 데이터

본 논문에서 특징신호 추출 알고리즘을 비교하기 위해 왼손과 오른손의 움직임(손가락을 가볍게 튕기는 움직임)을 상상 지시조건으로 기록한 운동감각 리듬의 뇌전도 신호를 사용하였다. 각 피실험자의 데이터는 두 지시조건인 뇌전도 신호를 각 100 회씩 포함하고 있다. 총 8 명(남자 3 명, 여자 5 명)의 피실험자의 뇌전도 신호를 분석하였으며 피실험자들의 평균나이는 24 세이다. 신호 데이터는 Biosemi 의 ActiveTwo 장비로 획득하였고 512Hz 의 샘플링 주파수와 64 채널의 시공간적 해상도로 기록되었다.

3. 알고리즘

특징 추출을 위한 알고리즘으로 r^2 값과 ERSP 를 사용하였으며 특징신호 추출 알고리즘의 분류 정확도를 비교하기 위하여 CSP(Common Spatial Filter)[4]와 LDA(Linear Discreminant Analysis) 알고리즘을 사용하였다.

3.1 r^2 값은 두 개의 신호의 분포차이를 보여주는 통계적 수치로 0 에서 1 의 범위를 가진다. 두 데이터의 벡터에서 평균과 분산의 차이가 적어 분포가 서로 비슷한 할 경우 0 에 가까운 값을 가리키게 되고 그 반대의 경우에는 1 에 가까운 값을 가리키게 된다. 1 에 가까울수록 데이터 분포의 차이가 커져 데이터의 분류를 쉽게 할 수 있기 때문에 이 신호 성분을 특징신호라고 간주할 수 있다. 두 지시조건인 뇌전도 신호에서 제한된 시간구간과 주파수대역의 데이터를 추출하고 이 값을

계산해보면 특징신호가 나타나는 시간과 주파수 대역을 추출할 수 있다.

3.2 ERSP는 1회 시행의 뇌전도 신호에서 지시조건이 피실험자에게 주어진 최초시점을 기준으로 신호의 스펙트럼이 시간에 따라 어떻게 변화하는지 보여주는 시간-주파수 분석방법이다. 이 방법을 두 지시조건인 뇌전도 신호에 각각 적용하여 시간-주파수에 대한 스펙트럼 그래프를 각각 그리고 그 차이를 구한다. 그러면 두 지시조건이 주어졌을 때 뇌전도 신호 스펙트럼 차이가 어떤 시간구간과 주파수 대역에서 나타나는지 알 수 있으므로 특징신호가 나타나는 시간과 주파수 대역을 추출 할 수 있다.

4. 분석방법

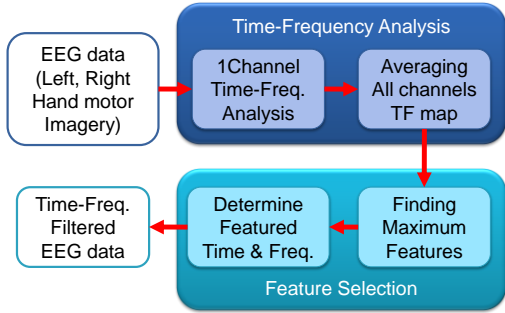


그림 1. 특징신호 추출 알고리즘의 동작과정

r^2 값과 ERSP를 이용하여 특징신호의 뇌전도 신호를 추출하는 과정은 위의 그림과 같다. 먼저 r^2 값과 ERSP를 이용하여 시간-주파수 분석을 수행하고 그 결과를 이용해서 뇌전도 신호에서 나타나는 특징신호를 1초의 시간구간과 5Hz의 주파수 대역으로 결정한다. 그리고 결정한 특징신호의 추출을 위해 뇌전도 신호 데이터를 결정된 시간 구간만 잘라내고 밴드패스 필터로 결정된 주파수 대역 성분만 필터링 한다. 이와 같은 차원축소과정을 거친 뇌전도 신호에 CSP와 LDA 알고리즘을 사용하여 각 특징추출 알고리즘의 분류 정확도를 구한다. 평균적인 분류 정확도를 평가하기 위해 공통적으로 Leave One Out 교차검증법(Cross-validation)을 적용하였다. 두 가지의 특징신호 추출 알고리즘을 적용한 테스트 외에 일반적으로 특징신호가 잘 나타나는 9-13Hz와 1-2초 구간의 뇌전도 신호를 임의로 추출하여 같은 방법으로 테스트 해보았다.

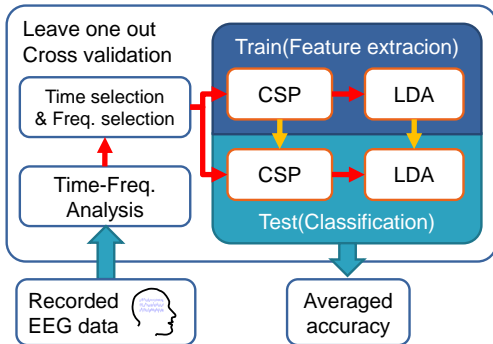


그림 2. 분류 정확도 테스트 과정

5. 분석결과

위의 결과 그래프는 피실험자 뇌전도 신호를 위의 알고리즘으로 분석하여 8명의 평균 분류 정확도를 표시한 그래프이다. 특징신호를 추출하지 않는 공간 정보(전극 채널에 따른 정보)를 고려하기 위해 CSP 필터의 열 개수를 1, 2, 5, 10 열까지 늘려가며 분류 정확도를 비교하였다. r^2 알고리즘을 사용한 분류 정확도의 평가한 그래프는 파란선으로, ERSP 알고리즘을 사용하여 평가한 그래프는 붉은선으로, 시간-주파수

대역을 임의 지정하여 평가한 그래프는 녹색선으로 표시하였다.

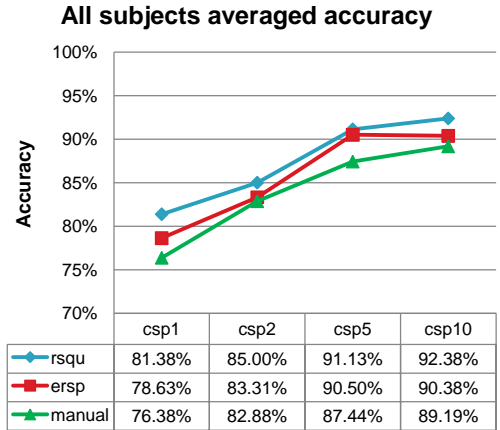


그림 3. 평균 분류 정확도 결과

r^2 값을 사용하여 시간과 주파수의 특징신호를 추출한 분류정확도가 평균적으로 가장 높은 정확도를 보여주었다. 공간정보를 가장 많이 사용한 csp10의 결과에서 개별적인 피실험자의 분류정확도를 비교해보았을 때, 4명의 피실험자 결과에서 r^2 값을 사용하여 특징신호를 추출한 분류 정확도가 다른 특징신호 추출방식보다 더 뛰어난 결과를 보여주었다. 그렇지만 나머지 4명의 피실험자 결과에서는 임의지정 방식에 비해 큰 차이를 보이지 못했다. 이는 테스트 과정에서 비선형의 특성을 가지고 있는 뇌전도 신호를 선형판별(LDA) 알고리즘 분류하기 때문에 나타나는 문제점인 것 같다.

III. 결론

본 논문에서는 뇌전도 신호 분류의 정확도 향상을 위하여 시간과 주파수대역의 특징신호를 추출하는 차원축소 알고리즘 비교 분석해보았다. 세 가지의 특징신호 추출 방법을 이용하여 피실험자가 왼손과 오른손의 움직임에 상상하는 지시조건으로 기록된 뇌전도 신호를 분류해본 결과, 평균적으로 r^2 값을 이용한 특징신호 추출방법이 가장 높은 분류 정확도를 보여주었다. 그렇지만 일부 피실험자들에 대해서는 분류 정확도의 향상이 뚜렷하지 않아 더 나은 판별 알고리즘의 적용과 특징신호 추출 알고리즘의 보완에 대해서 좀 더 연구해보아야 할 것 같다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (중견연구자 - 도약연구사업, No. 2011-0016496)

참고 문헌

[1] 이승찬, 신영학, 이흥노, "뇌전도 신호를 이용한 실시간 1차원 커서제어실험," *한국통신학회 동계종합학술발표회*, p. 44, 2011.

[2] Wolpaw, J. R., "Brain-computer interfaces for communication and control," *Clin. Neuro.*, Vol 113, pp. 767-791, 2002.

[3] Makeig, S. "Mining event-related brain dynamics," *Tren. in Cogn. Sci.*, Vol 8, No 5, pp. 204-210, 2004.

[4] Blankertz, B., "Optimizing Spatial Filters for Robust EEG Single-Trial Analysis," *IEEE Sig. Proc. Mag.*, Vol. 40, 2008.