

뇌파 기반 개인 인증 시스템 개발

최가영[‡]·김은지[‡]·강예나·박수빈·박수진·최수인·황한정

금오공과대학교 메디컬IT융합공학과

Development of a Biometric Authentication System Based on Electroencephalography

Ga-Young Choi[‡], Eun-Ji Kim[‡], Ye-Na Kang, Su-Bin Park, Su-Jin Park,
Soo-In Choi and Han-Jeong Hwang

Department of Medical IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology

Abstract Traditional electroencephalography (EEG)-based authentication systems generally use external stimuli that require user attention and relatively long time for authentication. The aim of this study is to investigate the feasibility of biometric authentication based on EEG without using any external stimuli. Seventeen subjects took part in the experiment and their EEGs were measured while repetitively closing and opening their eyes. For identifying each subject, we calculated inter- and intra-subject cross-correlation using changes in alpha activity (8-13 Hz) during eyes closed as compared to eyes open. In order to optimize the number of recording electrodes, we calculated authentication accuracy by progressively reducing the number of electrodes used in the analysis. Significant increase in alpha activity was observed for all subjects during eyes closed, focusing on occipital areas, and spatial patterns of changed alpha activity were considerably different between the subjects. A mean authentication accuracy of 92.45% was obtained, which was retained over 75% when using only 8 electrodes placed around occipital areas. Our results could demonstrate the feasibility of the proposed novel authentication method based on resting state EEGs.

Key words: Electroencephalography(EEG), Biometric authentication, Resting state, Alpha band

서론

우리는 일상생활 속에서 보안을 위해 수 많은 인증 시스템을 이용하고 있다. 현관문을 열 때 비밀번호를 입력하고, 스마트폰을 사용할 때 손가락의 지문이나 홍채를 인식시켜 인증을 한다. 심지어 은행 업무도 지문이나 개인용 보안카드를 이용해 본인 인증을 한다 [1-4]. 하지만 이러한 기존의 보안 시스템은 위조가 가능하다는 위험성이 항상 존재한다. 예를 들어, 최근 소방관 2명이 실리콘으로 가짜 지문을 만들어 서로의 근태 관리를 대신해 초과 근무 수당 받아 구속

된 사례가 있다. 이는 일반인도 어렵지 않게 인증 매개체의 위조를 통해 기존 인증 시스템의 보안을 뚫을 수 있다는 것을 시사한다.

최근, 위조와 모방이 불가능한 개인 뇌파를 활용한 인증 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어 지고 있다 [5-6]. 사람마다 지문의 생김새가 다른 것처럼 뇌파 또한 개인마다 다른 특징을 가지고 있기 때문에, 이를 인증에 활용할 수 있다. 선행 연구들을 살펴보면 대부분 외부 자극에 기반한 패러다임을 이용하는 인증 시스템의 개발이 주를 이루고 있다. 시각, 청각, 촉각 등의 외부 자극을 사용자에게 제시하여 개인별 고유한 특성을 지닌 유도 뇌파를 활용하는 방법으로, 사건 유발 전위(event-related potential: ERP), 안정상태 시각 유발 전위(steady-state visual evoked potential: SSVEP), 안정상태 청각 유발 전위(auditory steady-state response: ASSR), 안정상태 촉각 유발 전위(steady-state somatosensory potential: SSSEP) 등이 대표적인 유발 뇌파이다. 예를 들

[‡]Contributed equally to this work.

Corresponding Author : Han-Jeong Hwang
350-27, Gumi-daero, Gumi-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea
Tel: +82-54-478-7783 / E-mail: h2j@kumoh.ac.kr
이 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

어, Palanoappan and Raveendran의 연구에서는 인증 시스템에 시각 유발 전위 패러다임을 적용하였다. 피험자가 하나의 사진을 보는 동안 측정된 뇌파에서 감마 파워를 추출하여 이를 인증에 활용하였으며, 총 10명의 피험자를 대상으로 최대 95%의 인증 정확도를 확인하였다 [7]. Chen et al. 은 세 가지의 이미지를 조합하여 사건 관련 전위 패러다임을 이용한 인증 시스템을 제안했으며, 29명의 피험자들을 대상으로 평균 87.8%의 인증 정확도를 보였다 [8]. 이러한 선행 연구결과들은 뇌파를 기반으로 한 생체 인증 시스템 개발의 가능성을 보여주었다 [9-12]. 그러나, 소개한 선행 연구들에서는 외부 자극을 이용하기 때문에 사용자에게 피로감을 유발 할 수 있고, 1 분 이상의 긴 인증 시간을 요구한다 [13]. 이런 한계점들은 사용자 편의성, 신속성, 정확성을 요구하는 실용적인 인증 시스템 개발에 있어 큰 결점이 아닐 수 없다.

본 연구에서는 앞서 제시한 선행 연구들의 한계점을 극복하기 위하여 외부 자극을 사용하지 않고 사용자가 안정 상태일 때 자연스럽게 유발되는 뇌파를 활용하여 생체 인증 시스템을 개발하고자 한다. 눈을 뜨고 있을 때(개안) 대비 눈을 감고 있을 때(폐안) 시각을 관장하는 후두엽을 중심으로 알파 파워(8-13 Hz)가 크게 증가한다는 것은 이미 많은 선행 연구에서 보고가 되었다 [14-15]. 선행 연구들에 기반하여 본 연구에서는 개안 대비 폐안 시 증가하는 알파 파워의 공간적인 패턴이 사용자마다 다를 것이라는 가정하에, 이를 이용한 생체 인증 시스템의 유용성을 조사하였다.

22.00 ± 1.2세 이다. 실험 전 모든 피험자들은 본 연구의 목적, 실험과정, 실험 시 주의사항을 실험자로부터 상세히 전달받고 숙지하였다. 또한 모든 피험자들은 본 실험에 참여함에 동의하는 동의서에 서명 하였고, 실험에 참가 후 적절한 보상을 받았다. 본 연구는 금오공과대학교 생명윤리심의 위원회의 승인을 받았다(No.6250).

2. 실험 프로토콜

피험자들은 실험 자극이 제시 될 모니터와 1 m 간격을 두고 편안한 의자에 앉아 화면을 응시하며 안정상태를 유지하도록 지시 받았다. 피험자들은 모니터 상에 ‘OPEN’ 이라는 표시가 제시되면 눈을 뜬 상태로 다음 과제가 주어질 때까지 기다리고, ‘CLOSE’ 라는 표시가 제시되면 다음 과제가 주어질 때까지 눈을 감는 과제를 수행하였다. 정확한 시각 자극 전환 시점을 제공하기 위해 시각 자극이 전환 될 때마다 짧은 청각 자극(beep sound)을 함께 제시하였다. 눈을 뜨고 있는 상태에서 발생하는 자연스러운 눈 깜빡임은 허용하였지만, 그 외 다른 불필요한 움직임은 최소화 할 것을 지시하였다. 그림 1은 본 실험에서 뇌파 측정에 사용한 패러다임을 도식화 하고 있다. 15초간 눈을 뜬 상태를 유지하고, 다음 15초간 눈을 감은 상태를 유지하는 것을 한 주기(이하 trial)로 보고, 피험자마다 각각 40 trial씩 실험을 되풀이 하는 동안 뇌파를 측정하였다. 20 trial 연속 측정 후 피험자의 과도한 피로감을 방지하기 위해 충분한 휴식을 취한 다음 나머지 20 trial을 측정하였다.

3. 데이터 수집 및 분석

(1) 뇌파 측정

뇌파를 측정 할 전극은 피험자들의 두피에 국제 뇌파 및 임상 뇌 대사 학회 연맹(International Federation of Societies for Electroencephalograph and Clinical

II. 연구 방법

1. 실험 대상

본 실험에는 자발적으로 참여의사를 밝힌 성인 17명(남자 5명, 여자 12명)을 대상으로 실험을 진행하였다. 피험자들은 모두 정신적 또는 신체적 질환이 없었으며 평균 연령은

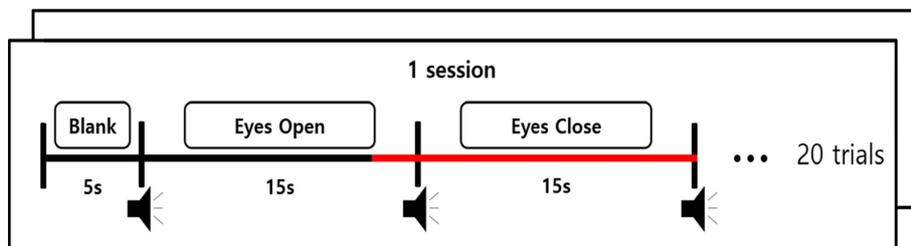


그림 1. 본 실험에서 사용한 실험 패러다임. 피험자는 5초 동안 빈 화면(Blank)을 보고 있다가 개안(OPEN) 혹은 폐안(CLOSE)을 지시하는 모니터 상의 자극 명령에 따라 눈을 15초간 뜨거나 감는 작업을 한 세션당 20 trial 반복하였으며, 개별 피험자마다 해당 작업을 총 2 세션 반복하였음.

Fig. 1. Experimental paradigm used in this study. The subjects are asked to concentrate on a blank screen for 5 s and then they repeatedly open and close their eyes for 15 s according to the visual stimulus (‘OPEN’ or ‘CLOSE’) presented on the monitor, which is repeated twenty times in one session for each subject. Two sessions are performed for each subject.

Neurophysiology)에서 제안한 국제 10-20 전극 배치법 (international 10-20 system)에 근거하여 부착하였다. 시각을 관장하는 후두엽을 중심으로 31개 전극(FP1, FP2, F3, F4, F7, F8, Fz, FC3, FC4, Cz, C3, C4, T7, T8, CP1, CP2, CP5, CP6, P3, P4, P7, P8, Pz, PO3, PO4, PO7, PO8, POz, O1, O2, Oz)을 부착하고, 접지(ground)/기준 (reference) 전극을 왼쪽과 오른쪽 유양 돌기에 부착하였다(그림 2). 두피에 부착하는 전극은 전극과 두피 간의 저항을 줄이기 위해 전도성 젤을 사용하여 부착하였고, 유양 돌기(피부)에 부착하는 접지/기준 전극은 Kendall 사의 일회용 스티커 전극(MT100)을 이용하여 부착하였다. 본 실험에서는 (주)Laxtha에서 개발한 32채널 뇌파 측정 장비 WEEG-32를 사용하여 512 Hz의 표본 추출 비율로 뇌파를 수집하였다.

(2) 데이터 분석

측정된 뇌파의 원신호(raw data)에 공통 평균 기준 도출법(common average reference: CAR)을 적용하여 뇌파 측정 당시 유입된 공통 잡음 성분을 제거하였다 [16-17]. 1-45 Hz 대역 필터를 적용하였으며(3rd order butterworth band pass filter), 분석에서는 알파 대역(8-13 Hz)을 포함하는 6-15 Hz 대역 정보만을 사용하였다. 필터링 한 데이터는 개안 1초와 폐안 15초를 하나의 trial로 간주하여 trial별로 데이터를 추출하였다(epoching). 피험자별로 시간에 따른 개, 폐안 시 주파수 파워 변화를 관찰하기 위해 1초 간격으로 50%씩 중첩하는 이동-창 기법(moving-window technique)을 적용하여 주파수 파워를 추정하였다. 각 trial별로 개별 채널에 대해 동일한 분석을 적용하였다. 피험자별로 측정된 31개의 채널마다 40 trial의 뇌파 정보가 존재하는데, 잡음이 다수 발생한 trial과 채널을 주파수 분석 결과로부터 관찰을 통해 경험적으로 제거하였다. 피험자마다 잡음 발생 정도가 다르기 때문에 제거된 trial과 채널의 수는 피험자별로 상이 하였다. 전체 17명의 피험자에서 평균적으로 약 0.52개의 trial (총 9 trial) 과 약 0.23개의 채널 (총 4 채널) 이 제거되어 대부분의 데이터가 분석에 활용되었다.

(4) 성능 평가

뇌파 기반 생체 인증 시스템의 성능을 검증하기 위해 각 trial별로 추정된 주파수 파워의 변화를 특징으로 활용하였다. 특징 추출을 위해 한 채널 안에서 개안과 폐안 시 시간에 따라 추정된 주파수 파워를 각각 시간에 대해 평균하였으며, 폐안의 각 주파수 별 평균 파워 값에 개안의 각 주파수 별 평균 파워 값을 빼주어 개안과 폐안 시 발생하는 알파 파워 차이를 특징으로 사용하였다. 동일한 분석을 개별 trial별로 모든 채널에 대해 적용하였으며, 최종적으로 각 채

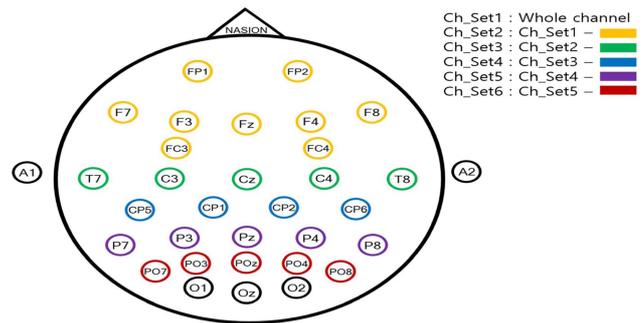


그림 2. 31개의 두피 전극과 접지/기준 전극의 위치.
Fig. 2. Position of 31 scalp electrodes and ground(A1)/reference(A2).

널 별 개인 대비 폐안 시 알파 파워의 변화(채널-주파수 패턴 맵)를 특징으로 활용하였다(그림 3 참조). 인증 정확도를 계산하기 위해 개별 피험자별로 잭 나이프법(leave-one-out-cross-validation, Jack-knife)을 이용하였으며, 교차 상관 분석(cross-correlation: 이하 CC)결과를 최종 분류에 활용하였다. 예를 들어, 한 명의 피험자에서 선택한 특정 trial 데이터를 인증 테스트 할 경우, 해당 trial로부터 도출한 채널-주파수 패턴 맵과 해당 피험자의 나머지 모든 trial의 채널-주파수 패턴 맵 사이의 CC를 계산하여 최종적으로 평균 CC값을 계산하였다. 그리고 선택한 trial의 채널-주파수 패턴 맵과 나머지 개별 피험자의 모든 trial의 채널-주파수 패턴 맵들과 비교하여 개별 피험자별로 평균 CC값을 계산하였다. 최종적으로 테스트에 사용한 trial은 가장 큰 평균 CC값을 가지는 피험자로부터 측정된 데이터라고 판단(인증)하여 최종 인증 정확도를 계산하였다. 또한, 전극 부착 위치를 최적화 하기 위해 그림 2에 표시 된 것처럼, 시각을 관장하는 후두엽을 중심으로 분석에 사용하는 채널의 수를 줄여가며 채널의 수가 인증 정확도에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

연구 결과

1. 주파수 분석

그림 3은 전체 채널에서 모든 피험자들의 눈을 뜨고 있다가 감았을 때 나타나는 주파수 파워의 평균적인 변화를 나타냈다. 피험자가 눈을 뜨고 있는 앞쪽 15초 보다 눈을 감고 있는 뒤쪽 15초 에서 상대적으로 강한 알파 파워(8-13 Hz)가 나타나는 것을 확인하였다.

그림 4는 본 연구에서 제안하는 인증 시스템에서 사용하는 특징인 개안 대비 폐안의 알파 파워의 변화를 가장 잘 보여주는 5명 대표 피험자(육안 관찰을 통해 선정)의 평균 채널-주파수 맵이다. 5명 피험자 모두 개안 대비 폐안 시 알

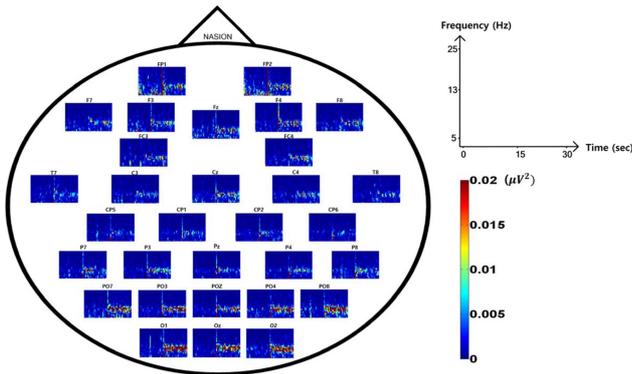


그림 3. 전체 17명 피험자의 개안(0-15초)과 폐안(15-30초)시 평균 파워 스펙트럼 맵.
 Fig. 3. Mean power spectral maps of 17 subjects during eyes open (0-15 s) and eyes closed (15-30 s).

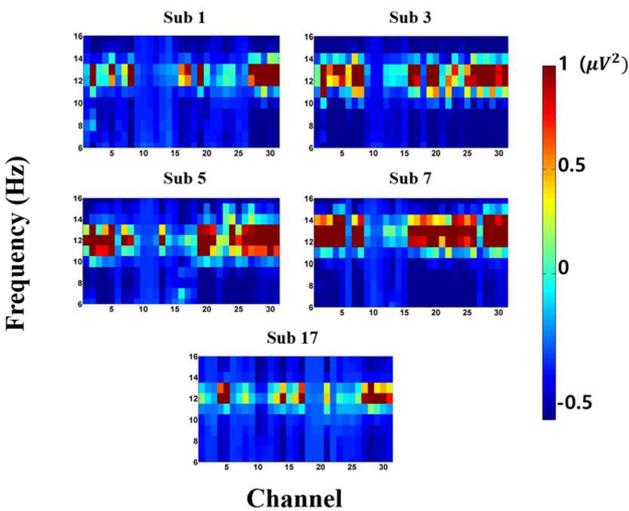


그림 4. 채널-주파수 패턴 맵: 대표 5명 피험자의 개안 대비 폐안 시의 파워 변화.
 Fig. 4. Channel-frequency pattern map: spectral power changes during eyes closed as compared to eyes open for five representative subjects.

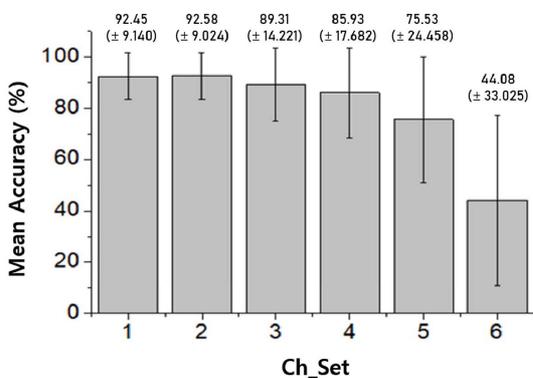


그림 5. 채널 구성에 따른 분류 정확도.
 Fig. 5. Classification accuracy with respect to channel configuration.

파 파워가 증가하는 것을 확인 할 수 있었으며, 특히 그 증가 패턴이 개별 피험자별로 달라서 인증에 유용하게 사용할 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

2. 성능평가

그림 5는 전극 부착 위치의 최적화를 위해 구분한 6개의 서로 다른 채널 구성에 따른 평균 인증 정확도를 나타내고 있다. Ch_Set1-4까지는 모두 85% 이상의 높은 분류 정확도를 보였다. 후두엽 부근의 8개의 전극만을 사용했을 때에도(Ch_Set5) 인증 정확도가 75% 이상 유지되는 것을 확인하였다. 반면, 후두엽의 O1, O2, Oz 단 3개의 채널만 이용했을 때에는(Ch_Set6) 인증 정확도가 급격하게 감소하는 것을 확인하였다.

결론

본 논문에서는 기존의 뇌파를 이용한 인증 연구들과 달리 외부 자극을 사용하지 않고, 단순히 눈을 감고 있는 안정 상태에서 유도되는 알파 파워의 변화를 이용한 뇌파 기반 인증 시스템의 개발 가능성에 대해 조사하였다. 또한 실용성 향상을 위해 분석에 이용하는 채널의 개수를 줄여가며 인증 성능의 변화를 확인하였다. 피험자가 눈을 뜨고 있을 때 대비 감고 있을 때 알파 파워가 전 채널에서 전반적으로 크게 증가하였으며, 피험자 간의 알파 파워 변화 패턴이 유의미하게 다르다는 것을 확인하였다. 실험에 사용한 31개의 채널 정보를 모두 이용했을 때 평균 92.45%의 높은 인증 정확도를 얻을 수 있었으며, 알파 파워에 가장 민감하게 반응하는 13개와 8개의 후두엽 주위 전극만을 이용해서는 각각 85.93%(Ch_Set4)와 75.53%(Ch_Set5)의 정확도를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 뇌파 기반 인증 시스템 개발을 위해 피험자가 개안과 폐안 과제를 수행 할 때 31개의 두피 전극을 이용하여 뇌파 데이터를 측정하였다. 개안과 폐안시 사용자의 눈 움직임을 통제하는 것과 비교적 많은 수의 전극 사용은 인증 시스템의 사용자 편의성을 저하시키는 요인이므로, 추후 개안/폐안 시간과 전극의 개수를 최소화 할 수 있는 방법의 고안이 필요하다. 또한, 본 연구에서는 피험자마다 같은 날에 측정된 데이터로 분석을 진행하였으며, 분석에서는 간단한 필터링만 거친 후 상호 상관 분석법을 이용하여 성능 평가를 하였다. 미래 연구에서는 인증 시스템의 재현성과 인증 정확도를 향상시키기 위해 동일한 피험자를 대상으로 다수의 날에 걸쳐 추가 실험을 진행하고, 새로운 특징 추출과 분류 기법을 적용하고자 한다. 아울러, 본 연구에서 제안하는 인증 시스템은 다수의 사용자 중 특정 개인을 인증하는 시나리오를 가정하고 개발 한 것으로, 추후 연구에서

는 스마트폰과 공인인증서와 같은 개인별 인증에 적용할 수 있는 연구 또한 진행하여 활용 가치를 높이고자 한다.

참고문헌

- [1] J. Thorpe, P. C. van Oorschot, and A. Somayaji, "Pass-thoughts: authenticating with our minds," in *Proc. 2005 Workshop on New Security Paradigms. ACM*, pp. 45-56, 2005.
- [2] A.K. Jain, L. Hong, S. Pankanti, and R. Bolle, "An identity-authentication system using fingerprints," *Proc. IEEE*, vol. 85, no. 9, pp. 1365-1388, 1997.
- [3] W. Zhao, R. Chellappa, P.J. Phillips, and A. Rosenfeld, "Face recognition: a literature survey," *Acm. Comput. Surv.*, vol. 35, no. 4, pp. 399-458, 2003.
- [4] L. Flom, and A. Safir, "Iris recognition system," *U.S. Patent No. 4,641,349.*, 1987.
- [5] Burr, E. William, D. Donna F, and P. William T., *Electronic authentication guideline*. US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, 2004.
- [6] H. Berger, "Über das elektroencephalogramm des menschen," *Eur. Arch. Psy. Clin. N.*, vol. 87, no. 1, pp. 527-570, 1929.
- [7] R. Palaniappan, and P. Raveendran, "Individual identification technique using visual evoked potential signals," *Electron. Lett.*, vol. 38, no. 25, pp. 1634-1635, 2002.
- [8] Y. Chen, A. D. Atnafu, I. Schlattner, W. T. Weltdsadik, M.C. Roh, H. J. Kim, S. H. Lee, B. Blankertz, and S. Fazli, "A high-security EEG-based login system with RSVP stimuli and dry electrodes," *IEEE T. Inf. Foren. Se.*, vol. 11, no. 12, pp. 2635-2647, 2016.
- [9] S. Marcel, and J. D. R. Millán, "Person authentication using brainwaves (EEG) and maximum a posteriori model adaptation," *IEEE T. Pattern. Anal.*, vol. 29, no. 4, pp. 743-748, 2007.
- [10] A. Zúquete, B. Quintela, and J. S. Cunha, "Biometric authentication using brain responses to visual stimuli," *Repositório Institucional da Universidade de Aveiro*, 2010.
- [11] I. Nakanishi, S. Baba, and C. Miyamoto, "EEG based biometric authentication using new spectral features," In *Intelligent Signal Processing and Communication SystemsI, SPACS 2009. International Symposium on IEEE*, pp. 651-654, 2009.
- [12] W. Khalifa, A. Salem, M. Roushdy, and K. Revett, "A survey of EEG based user authentication schemes," *Proc. 8th International Conference on IEEE*, 2012.
- [13] D. La Rocca, P. Campisi, and G. Scarano, "EEG biometrics for individual recognition in resting state with closed eyes," *Proc. 2012 BIOSIG-Proceedings of the International Conference of the IEEE*, pp. 1-12, 2012.
- [14] R. J. Barry, A. R. Clarke, S. J. Johnstone, C. A. Magee, and J. A. Rushby, "EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions," *Clin. Neurophysiol.* vol. 118, no. 12, pp. 2765-2773, 2007.
- [15] T. A. Travis, C. Y. Kondo, and J. R. Knott., "Parameters of eyes-closed alpha enhancement," *Psychophysiology*, vol. 11, no. 6, pp. 674-681, 1974.
- [16] J. W. Osselton, "Acquisition of EEG data by bipolar unipolar and average reference methods: a theoretical comparison," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* vol. 19, no. 5, pp. 527-528, 1965.
- [17] F. F. Offner, "The EEG as potential mapping: the value of the average monopolar reference," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* vol. 2, no. 1, pp. 213-214, 1950.