

무자각 사용자 인증을 위한 실용적 뇌파인증 기술 - EEG 기반 인증기술 동향 및 요구사항 분석 -

조진만*, 고한규**, 최대선***

요약

본 논문에서는 생체인식 인증의 한 가지 방법인 뇌파 기반 사용자 인증기술의 최신 기술동향에 대해 고찰하고 해당기술의 실용화를 위해 해결해야 할 기술적 문제점과 요구사항에 대해 분석한다. 뇌파 기반 사용자 인증기술은 최근에 스마트폰, 금융 등 다양한 분야에서 사용되고 있는 기존의 생체인식 인증기술과 비교해볼 때 가변성, 유출 저항성 등의 장점이 있지만, 사용자들로부터 뇌파를 수집하기 위해 필요한 장비의 경제성, 뇌파 수집 행위의 사용자 편의성, 현재까지 발표된 뇌파 기반 사용자 식별 기법들의 안정성 등이 개선되어야 하는 것으로 파악된다. 이와 관련하여 뇌파 측정 장비들의 발전 동향을 살펴보고 해당 장비들의 간소화와 인증정확도 간 트레이드오프(Trade-off)와 최신 기계학습 및 인공지능 기술들을 활용한 뇌파 기반 사용자 식별 기법들의 안정성을 위해 해결되어야 할 뇌파의 시간차 문제 및 이에 따른 인증정확도 저하 문제를 규명하고 분석한다.

I. 서론

최근 개인을 식별하기 위한 방법으로 지문, 홍채, 목소리, 얼굴 등 사용자의 생체정보를 활용한 인증방법이 다양한 분야에서 활용되고 있다[1]. 사용자가 비밀번호를 잊어버리거나 독립된 하드웨어 형태의 보안토큰을 분실할 경우, 타인에 의해 쉽게 명의가 도용될 수 있는 문제점이 존재하는 전통적인 인증방법에 비해, 지문, 홍채 등의 각 개인에게 종속적인 생체정보를 이용한 인증방법은 분실의 위험이 없고 노출되었을 경우에도 타인에 의해 도용될 수 있는 가능성이 상대적으로 낮아 기존 인증방법들 보다 편리하고 안전하다는 장점이 있기 때문이다. Thorpe et al. [2]는 생체인식 시스템이 만족시켜야 하는 요구사항에 대해 다음과 같이 정리하고 있다.

- 가변성 (Changeability): 사용자의 인증정보가 유출되었을 경우, 다른 정보로 대체할 수 있어야 한다.

(예, 비밀번호 변경)

- 유출 저항성 (Shoulder-surfing resistance): 사용자가 인지하지 못한 상태에서 악의적 사용자나 비디오 기록 장치에 의해 인증정보가 노출된 경우에도 명의가 도용되지 않아야 한다.
- 도난 방지 (Theft protection): 인증정보의 물리적 도난이나 컴퓨터에 의한 예측 공격에 의해 명의가 도용되는 것을 방지하기 위해 인증시스템의 엔트로피 (entropy)가 프로세스의 속도를 증가하는 확장성을 보장해야 한다.
- 의도적 유출 방지 (Protection from user non-compliance): 의도하지 않은 인증정보의 유출을 방지하기 위해서 사용자가 손으로 쓰거나 하는 방식으로 자신의 인증정보를 다른 사용자와 쉽게 공유할 수 없어야 한다.

그러나 지문인식이나 홍채인식으로 대표되는 기존 생체인식 기반 인증기술은 해당 매체의 외형적 특징정

본 연구는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원(No.R-20160301-002995, 핀테크 서비스 금융사기 방지 를 위한 비대면본인확인 및 이상거래필터링기술)과 한국연구재단의 지원 (No. 2016R1A4A1011761, 핀테크 서비스를 위한 금융 보안 핵심 기술 개발) 을 받아 수행된 연구임.

* 한국전자통신연구원 초연결통신연구소 정보보호연구본부 (zmzo@etri.re.kr)

** 한국전자통신연구원 초연결통신연구소 우정기술연구센터 (kohangyu@etri.re.kr)

*** 공주대학교 의료정보학과 (sunchoi@kongju.ac.kr)

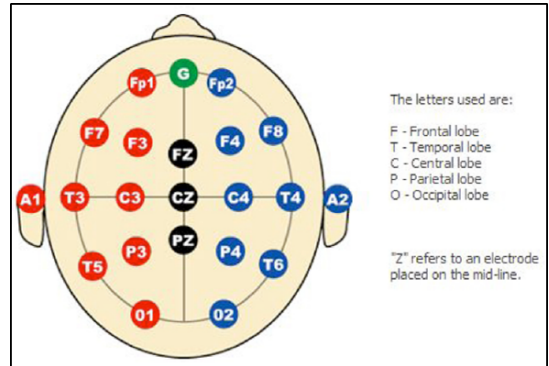
보에 의존적이기 때문에 악의적인 사용자에 의해 도용될 수 있는 가능성이 항상 존재하고(예, 지문의 경우 실리콘으로 다른 사람의 지문 만들어 출입 시스템에 도용한 사례가 있음[3]), 물리적 사고에 의해 신체에 직업적인 손상(예, 지문, 망막 손상)을 입을 경우 해당 생체정보를 인증목적으로 다시 활용하기 힘들다는 문제점 때문에 위에서 언급된 요구사항 중 특히 가변성과 유출 저항성 요구사항을 만족시키지 못한다.

이와 같은 문제의 대안으로 뇌파를 활용한 인증방법이 제안되었다. EEG(electroencephalography)로 대변되는 뇌파 데이터는 이전 연구에 의해 서로 다른 사용자들을 구분할 수 있는 고유 특징 정보를 제공할 수 있고 재현 관점에서도 인증수단으로 사용하기에 충분하다는 것이 증명되었다[2, 4, 5]. 또한, EEG는 지문이나 홍채와 달리 외부로 드러나지 않는 무형의 데이터로서 측정 장비의 착용이 전제되지 않고는 확인할 수 없기 때문에 도난이나 유출의 가능성이 낮고, 비밀번호를 변경하듯이 주기적으로 또는 필요에 따라 사용자에 의해 변경할 수 있기 때문에 [2]에서 언급된 요구사항을 모두 만족하는 이상적인 생체인증 수단으로서의 잠재력을 인정받고 있다[6].

EEG 기반 인증기술은 다른 생체인식 기술과 마찬가지로 EEG 데이터 수집을 위한 추가적인 하드웨어가 뒷받침되어야 한다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 일반적으로 정확한 EEG 데이터 수집을 위해서는 20개 이상의 전극이 그림에 표시된 두피와 귀 부분에 접지 되어야 하나, 최근 EEG 센서 기술의 발전으로 전극의 수가 20개 이하로 적고 간편하게 휴대할 수 있는 EEG 측정 장비들이 소개되었다.

EEG 측정을 위한 전극수의 감소는 뇌파 인증기술의 실용화 측면에서는 긍정적인 변화이지만 측정된 EEG 신호의 정확도 감소 여부와 이에 따른 인증정확도의 저하 문제가 해결되어야 한다. 해당 EEG 측정 장비들을 활용해서 수행된 관련 연구들의 실험결과들을 살펴보면 약 95~98%의 인증 정확도를 보이는 것으로 확인 되지만[11~16], 본 연구에서 수행한 실험에 따르면 실제로 전극수의 감소에 따른 인증정확도 저하 문제뿐만 아니라 시간 변화에 따라 동일 사용자에 대한 EEG 신호의 변화로 인한 인증정확도 저하 문제 또한 존재하는 것으로 파악되었다.

따라서 본 논문에서는 EEG 기반 인증기술의 실용화



(그림 1) EEG 측정을 위한 표준 전극 위치 (<http://www.immrama.org/eeg/electrode.html>)

를 위해 해결 되어야 하는 문제점들을 도출/분석하고 해당 기술의 발전방향에 대해 제안한다. 우선 EEG 기반 인증기술의 발전 동향에 대해 살펴보고 한계와 문제점에 대해 분석한다. 이를 바탕으로 뇌파 인증의 실용화를 위한 기술적 요구사항을 정의하고 EEG 기반 인증기술의 발전 방향을 제시한다.

II. EEG 기반 사용자 인증기술 발전 동향

본 장에서는 EEG 기반 인증기술을 EEG 측정 장비와 측정된 EEG를 활용한 사용자 식별기술로 구분하고 각각에 대한 기술 발전 동향에 대해 기술한다.

2.1. EEG 측정 장비

EEG는 뇌의 활동을 기록하는 기법으로 표 1에 정리되어 있는 것 같이 대역별로 총 4 종류의 사인파로 구성되어 있다[8]. 각 종류의 EEG 신호에 대해 간략히 설명하면, Alpha는 특별한 활동 없이 사용자가 안정(relaxation)을 취하는 동안 발생하는 신호이고 Beta는 사용자의 워킹 리듬(working rhythm)을 통해 발생한다. Theta는 사용자의 깊은 명상을 통해 생성되는 신호이며 Delta는 숙면을 취할 때 발생한다.

[표 1] 뇌파 신호

분류	주파수 대역
Alpha	8~13 Hz
Beta	14~26 Hz
Theta	4~7.5 Hz
Delta	0.5~4 Hz

EEG를 활용한 사용자 인증기술은 EEG 측정 장비를 통해 수집된 데이터로부터 푸리에 변환을 통해 인증에 사용하고자 하는 대역의 신호들만 추출하여 등록되어 있는 EEG 신호와의 유사도 비교 등을 통해 인증여부를 결정한다. 따라서 지문이나 홍채인식과 마찬가지로 사용자로부터 EEG 데이터를 수집하기 위한 장비가 필수적이다.

그림 2는 EEG 데이터를 수집할 수 있는 다양한 형태의 EEG 측정 장비들을 보여주고 있다. 기본적으로 EEG를 측정하기 위해서는 사용자의 두피와 귀에 전극(electrode)을 밀착시켜서 뇌의 활동에 따른 전기신호를 기록해야 하며, 위 그림에서 확인할 수 있듯이 다수의 전극이 신호측정 장치에 직접 연결된 형태(그림 왼쪽)에서 점차 전극의 수가 감소하고 측정된 신호도 전선을 통해 직접 연결되어 있는 저장장치에 기록하던 방식이었기 때문에 뇌파 데이터를 수집하기 위한 비용과 노력이 상당했다. 따라서 Thorpe et al. [2], Berkhout et al. [4] 등의 연구결과를 통해 뇌파를 이용한 사용자 인증이 가능하다는 것이 학술적으로 증명된 후에도 실생활에 적용하는 데에 회의적이었다.

그러나 EEG 수집 센서의 발전으로 뇌파 데이터 수집에 필요한 전극의 수가 감소하고 블루투스나 같은 무선통신을 통해 스마트폰이나 랩탑 등에 전달이 가능한 형태(그림 오른쪽)로 발전하였다. 대표적인 예로 EMOTIV EPOC+ [9]와 NeuroSky MindWave [10]가 있으며, 각각 EEG 측정을 위한 전극의 개수가 14 channel과 1 channel로 간소화 되었고, 이와 같은 EEG 수집 장비의 발전은 정제되어 있던 뇌파 기반 인증기술에 대한 연구가 활발히 수행되는데 일조하였다[11-16].

관련연구들의 실험결과에 따르면 인증 정확도 측면에서 EPOC+나 MindWave를 사용한 실험결과가 기존 64 channel 또는 32 channel을 사용한 EEG 데이터 기반의 연구들과 비교해볼 때 차이가 없이 수십 명 규모의 실험 대상자 그룹을 대상으로 약 95% 이상의 인증 정확도를 보임을 확인할 수 있다.



(그림 2) EEG 측정 장비의 발전

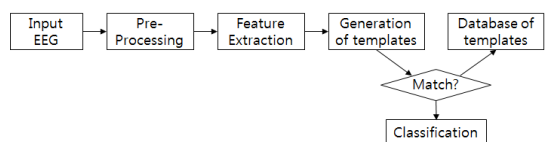
2.2. EEG 기반 사용자 인증/식별 기술

일반적으로 EEG 기반 사용자 인증기술 프레임워크는 그림 3에서 볼 수 있듯이, 앞에서 기술된 EEG 측정 장비를 통해 사용자별로 수집된 EEG 데이터로부터 대역별 사인파를 추출하는 전처리 단계, 추출된 사인파로부터 특징을 추출하는 단계, 사용자 별로 템플릿을 생성해서 저장하는 단계, 저장된 템플릿과의 비교를 통해 사용자를 인증/식별하는 단계로 구성되어 있다.

이중 가장 활발한 연구가 이루어진 부분은 선형판별 분석이나 인공신경망, 서포트 벡터 머신 같은 기계학습 기술들을 활용한 사용자 인증/식별 단계이며, 각 기법들에 대한 논의는 다음과 같다.

Riera et al. [11]와 Palaniappan [12]는 선형판별분석(linear discriminant analysis) 기법을 활용한 사용자 인증기법을 제안하였다. 선형판별분석 기법은 두 집단을 가장 잘 분리시키는 선을 찾아 정사영(projection)시키는 방법으로 2 class 인증에 활용되기에 적합한 기법이다. 구체적으로, Riera et al. [11]은 선형판별분석 기법 중 집단 간 산포 측도로 인해 정규화 된 평균들의 거리차이를 극대화 시키는 Fisher's discriminant analysis 기법을 활용하고 EEG 뿐만 아니라 ECG(electrocardiogram) 데이터로 인증 과정에 포함시키는 복합형 생체인식 기반 사용자 인증 기술을 제안한 것이 특징이다. Riera et al. [11]과 Palaniappan [12]에서 제안된 기법들의 인증 정확도는 각각 97.9% 와 97.4% 이다.

Sun [13]은 인공신경망을 활용한 EEG 기반 사용자 인증기법을 제안하였다. 인공신경망은 입력노드와 출력노드에서 주어진 입력값에 대해 가장 적합한 출력값이 나오는 가중치 값을 조정하는 학습과정을 통해 최적의 선형 분리 함수의 계수를 찾아내는 기법이다. 구별하고자 하는 그룹의 개수에 따라 다양한 차원의 (n-class) 인증에 활용될 수 있다. Sun [13]은 실험에 참가한 사용자들이 양손의 손가락을 움직이는 상상을 할 때 수집된 EEG 데이터로부터 CSP (common spatial patterns)을 통해 특징 벡터를 추출한 뒤 인공신경망을 학습 시키고



(그림 3) EEG 기반 사용자 인증 프레임워크

테스트 하였다. 1개의 은닉계층과 1개의 출력계층으로 구성된 인공신경망의 인증정확도는 실험 참가자 왼쪽 손가락을 움직였을 때 95.6%, 오른쪽 손가락을 움직였을 때 94.81%로 측정되었다.

Ashby et al. [14]는 두 개의 서로 다른 그룹을 가장 잘 구분하는 최적의 초평면(optimal Hyper-plane)을 구하는 서포트 벡터 머신을 활용한 EEG 기반 사용자 인증기법을 제안하였다. EEG 데이터로부터 AR 계수 (autoregressive coefficient), PSD(power spectral density), SP(spectral power), IHPD(interhemispheric power difference), IHLC(interhemispheric channel linear complexity), 총 5종류의 특징 벡터를 추출하여 서포트 벡터 머신을 학습시키고 테스트 하였고 5명의 실험 참가자들을 대상으로 97.69%의 인증 성공률을 보였다.

2.3. 단일 채널 기반 EEG 인증기술

앞서 설명된 EEG 기반 사용자 인증기법들[11-14]은 14 channel 의 EPOC+ 나 그 이상의 장비들로 수집된 데이터를 기반으로 수행되었다. 적절한 특징 추출 기법들이 뒷받침 되고 인증 목적에 적합한 기계학습 기법들을 활용되었을 경우 상당 수준의 인증정확도를 달성할 수 있다는 것이 증명되었으나 실용화를 위해서는 더 간소화 EEG 측정 장비의 활용이 요구된다.

MindWave는 현재까지 시판된 EEG 측정 장비들 중 가장 간소한 1 channel 장비이며 가격 경쟁력이나 착용의 편의성 측면에서 가장 우수한 기기이다. 이 장비를 기반으로 진행된 사용자 인증기술에 대한 연구는 다음과 같다.

Chuang et al. [15]는 단일 채널 EEG 측정 기기의 사용자 인증목적으로의 사용 가능성을 최초로 검증한 연구 결과를 소개하였다. 앞서 설명한 EEG 기반 사용자 인증기법들에서 다양한 특징 추출 기법과 기계학습 기법을 사용한 것과는 달리, 푸리에 변환(Fourier transform)과 대역 필터(bandpass filter)로 Alpha, Beta 대역의 신호만 추출하고 각각의 중앙값(median value)만 취한 뒤, 중앙값들 간의 코사인 유사도(cosine similarity)를 측정하여 비교하는 방법으로 인증 프로세스를 구현하였다. 특정 사용자에게 속한 중앙값들 중, 다른 사용자들의 중앙값과 유사도가 더 높은 중앙값들은

실험에서 배제하는 customized threshold 기법을 통해 외부자극 없이 수집된 15명의 EEG 데이터에 대해 94%의 인증정확도를 달성하였다.

Abo-Zahhad et al. [16]은 EEG 데이터 이외에 사용자의 눈 깜빡임에 의해 발생하는 EOG(electrooculogram) 데이터를 추가로 수집하여 EEG와 EOG로부터 추출된 특징을 CCA(cannonical correlation analysis)로 합성하여 선형판별분석 기법을 통해 사용자 인증을 수행한다. EOG와 EEG의 특징을 모두 사용한다는 측면을 제외하고는 방법론에서 기존 연구[10-14]와 큰 차이가 없으며 31명의 실험참가자를 대상으로 수행한 실험에서 97.3%의 인증정확도를 달성하였다.

III. 실용적 EEG 기반 사용자 인증을 위한 요구사항 분석

3.1. 단일 채널 기반 EEG 인증기술의 문제점

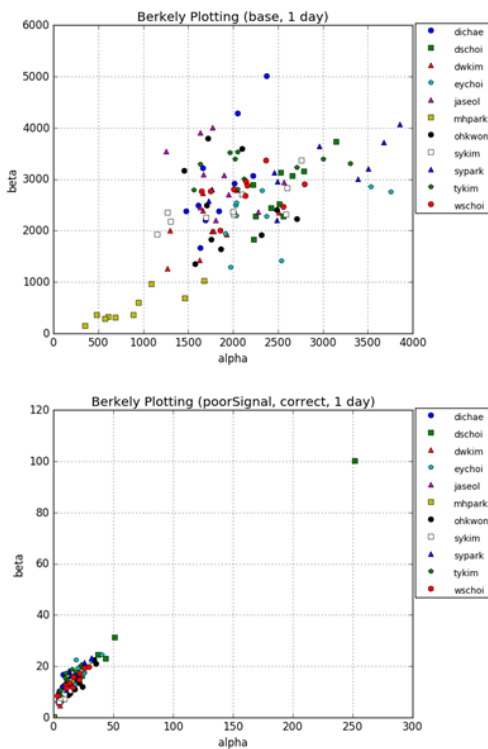
EEG 기반 사용자 인증기술 동향에서 파악할 수 있듯이 모든 관련연구들[11-16]의 공통점은 사용자 식별을 위한 고도화된 알고리즘에 대한 연구보다 수집된 EEG 데이터로부터 특징 정보를 추출하는 부분에 연구의 초점이 집중되어 있다는 것이다. 이것은 EEG 데이터라 지문이나 홍채 같은 생체인식매체의 정보와 비교할 때 눈에 보이지 않는 형태의 정보로서 뚜렷한(tangible) 특징을 추출해내기 어렵다는 것을 반증한다. 특히, EEG 측정 장비의 전극 수가 적을수록 이런 문제는 더 가중된다. 실제로 1 channel 장비인 MindWave의 경우 자체적인 데이터 품질제어 (quality control) 기능을 탑재하고 있으며 EEG 수집 시, poorSignal이 50 이상일 경우 신뢰할 수 없는 데이터로 매뉴얼에서 명시하고 경험적으로 25 이하일 경우에 유효하다고 알려져 있다[17].

Chuang et al. [15]는 이와 같은 1 channel 장비의 문제점을 고려하지 않고 EEG 데이터를 수집했을 뿐만 아니라, 수집된 EEG 데이터 중에서도 극히 일부인 2개의 신호값 [median_alpha, median_beta]만을 사용자 식별을 위해 사용하기 때문에 해당 논문의 실험 참가자 수인 15명을 넘어 불특정 다수의 사용자에게 대한 인증에 적합하지 여부를 확인하고자 재현 실험을 다음과 같이 수행하였다.

실험 참가자는 총 11명으로 20세 이상 대학생 남녀로 구성되어 있으며, MindWave를 사용하여 EEG 데이터 수집을 개인 당 한 번에 10초씩 10번, 총 10일에 걸쳐 진행하였다.

그림 4는 수집된 EEG 데이터 중 첫째 날 수집된 실험 참가자들의 데이터 분포를 보여준다. 위의 그래프가 MindWave의 데이터 품질제어를 무시한 데이터 분포이며 아래 그래프가 poorSignal이 25 이하인 데이터를 배제한 [median_alpha, median_beta]의 분포이다. 육안으로도 뚜렷이 확인할 수 있듯이, poorSignal 처리를 하지 않은 데이터가 개개인을 구분하기에 더 유용함을 알 수 있으며 아래 그래프의 분포의 경우 실험 참가자의 수가 증가함에 따라 특정 영역에 집중된 [alpha, beta]의 분포로 인한 인증정확도 저하 문제가 예상된다.

Abo-Zahhad et al. [16]은 EEG 특징 추출 문제를 보완하기 위해 EOG의 특징을 EEG 와 함께 사용하는 방법을 제안하였다. 그러나 EOG는 외부자의 관찰 및 훈련에 의해 도용될 위험이 크다는 문제점이 있다.



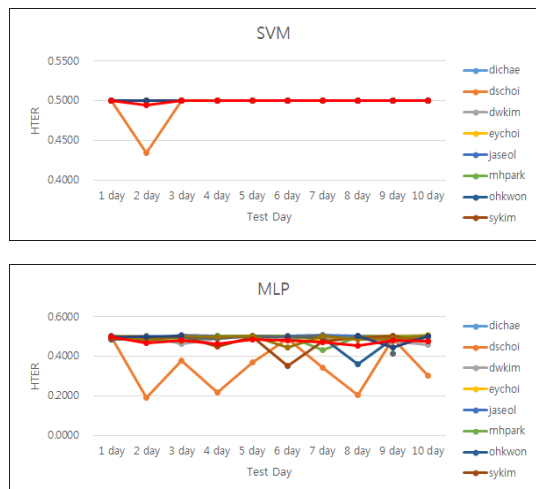
(그림 4) 수집된 EEG 데이터 비교

3.2. EEG 기반 사용자 인증/식별 기술의 문제점

2.2에서 논의된 다양한 기계학습 기법들을 사용한 EEG 기반 사용자 인증/식별 기술들은 각각 약 95% 이상의 인증정확도를 달성한 것으로 보고되었으나, 본 논문에서 대표적인 기계학습 기법들을 대상으로 재현 실험을 수행한 결과 기존 연구들에서 주장에 반하는 결과가 도출되었다.

그림 5는 다양한 기계학습 기법들 중 성능이 뛰어난 것으로 분류되는 서포트 벡터 머신(SVM, support vector machine)과 딥러닝의 일종인 다중 계층 퍼셉트론(MLP, multi-layer perceptron)을 사용하여 3.1에서 수집한 EEG 데이터를 바탕으로 인증정확도를 측정할 결과이다. 기존 연구들의 실험은 EEG 데이터 수집이 시간이 1~2일 정도이고 인증테스트를 실시할 때 다른 날 측정된 EEG 데이터 간의 교차 검증을 수행하지 않은 반면, 본 논문에서 수행한 실험은 총 10일에 걸쳐 수집된 EEG 데이터를 활용하여 첫째 날 수집된 EEG 데이터로 학습한 후 2~10일에 수집된 EEG 데이터로 인증테스트를 수행하는 방식으로 진행되었다.

위의 그래프에서 볼 수 있듯이, 서포트 벡터 머신(SVM)의 경우 대부분 HTER (half total error rate) 기준 0.5에 수렴하는 것으로 측정되었는데, 본 실험의 인증정확도를 측정하기 위해 사용된 HTER은 FAR (false acceptance rate)과 FRR (false rejection rate)의 평균이기 때문에 HTER이 0.5라는 것은 FAR이나 FRR이 1.0



(그림 5) SVM, MLP 인증정확도

으로 측정된 경우에 해당하는 것으로 사용자를 인증/식별하는 것이 불가능함을 의미한다. 다중 계층 퍼셉트론(MLP)의 경우, 특정 실험 참가자에 한정된 결과(dschoi, 2day)이지만, HTER이 0.2까지 측정되는 등 서포트 벡터 머신에 비해 더 좋은 인증정확도를 달성하였다. 그러나 전체적인 인증정확도 차원에서는 서포트 벡터 머신과 마찬가지로 대부분 HTER이 0.5에 수렴하는 것으로 파악되었다. 이는 기존 연구들의 주장하는 95% 이상의 인증정확도와는 큰 차이가 나는 결과이다.

본 실험 결과를 통해 유추할 수 있는 사실은 동일한 조건에서 수집된 동일한 사용자의 EEG 데이터라고 할 지라도 시간의 변화에 따라 변할 수 있는 반면에, 기존 연구들은 특정 시간에 집중적으로 수집된 EEG 데이터에 대해 과적합(overfitting)된 실험결과를 토대로 그들이 제안하는 EEG 기반 인증기법의 유효성을 주장하고 있다는 것이다.

3.3. 실용적 EEG 기반 사용자 인증기술을 위한 요구사항 도출

3.1과 3.2를 통해 분석된 기존 EEG 기반 사용자 인증기술들의 한계 및 문제점 분석을 통해 도출된 실용적 EEG 기반 사용자 인증기술을 위한 요구사항은 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, EEG 측정 장비 간소화에 따른 인증정확도 저하 문제가 해결되어야 한다. EEG 측정 장비 기술의 발전으로 사용자가 휴대할 수 있고 착용도 비교적 간편한 단일 채널 기기가 존재하지만, 기존 단일 채널 기반 EEG 인증연구[15, 16]에서 주장하는 것과는 달리, 채널 수 감소로 인한 인증정확도 문제가 있음을 본 논문의 실험을 통해 확인할 수 있었다. 향후, EEG 기반 사용자 인증기술의 실용화를 위해서는 EEG 데이터의 수집 과정에서 사용자 편의성 보장이 필수적이기 때문에 이와 같은 사용자 편의성과 인증 성능 간의 트레이드오프 문제가 반드시 해결되어야 한다.

둘째, 시간 차이에 따른 EEG 데이터 변화에 적응적인 사용자 템플릿 구성 및 인증기법이 개발되어야 한다. 단일 채널 관련연구뿐만 아니라 현재까지 발표된 모든 EEG 기반 인증기술 연구들이 간과하고 있는 문제로써 하루 이상 차이가 나는 동일 사용자의 EEG 데이터의 교차 테스트 시 뇌파를 인증 목적에 사용할 수 없다고

판단될 정도의 인증정확도 저하 문제가 발생함을 본 논문의 실험을 통해 확인하였다. 이 문제는 EEG 기반 사용자 인증기술의 실용화뿐만 아니라 EEG 데이터를 활용한 인증기술의 유효성 측면에서도 반드시 해결되어야 하는 문제이기 때문에 EEG 데이터를 활용한 인증정확도의 안정성을 보장하기 위한 기술이 사용자 템플릿을 구성하는 단계와 그것을 처리하여 인증작업을 수행하는 단계에서 보완할 수 있도록 연구개발이 선행되어야 한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 최신 EEG 기반 사용자 인증기술의 발전 동향을 살펴보고 기존 연구들의 한계와 문제점을 분석하였다. 동일한 EEG 측정 장비를 활용하여 수행한 실험을 통해 기존 연구들에 의해 왜곡되어 있던 EEG 기반 인증기술의 문제점을 경험적으로 증명하고 실용화 차원에서 추가적으로 수행되어야 할 기술적 요구사항들을 도출하였다. EEG는 지문이나 홍채와 같은 생체인식 정보가 만족시키지 못하는 가변성이나 유출 저항성과 같은 보안 요구사항을 만족시키는 이상적인 생체인식 정보이나 그만큼 개인을 식별할 수 있는 특징 정보를 시간에 독립적으로 일관성 있게 추출하기에 기술적으로 보완되어야 할 점들을 파악했으며, 향후 EEG 기반 사용자 인증기술의 실용화를 위한 요구사항 도출 및 발전 방향에 대해 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] A.K. Jain, A. Ross, and S. Prabbakar, "An Introduction to Biometric Recognition," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 14(1), pp. 4-20, Jan. 2004
- [2] J. Thorpe, P.C. Van Oorschot, and A. Somayaji, "Pass-thoughts: Authenticating with Our Minds," NSPW'05, pp. 45-56, Sep. 2005
- [3] "가짜 손가락 만들어 지문인식 하다니... 야근수당 훔치는 공무원들," <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2016/06/14/0200000000AKR20160614175700064.HTML> (accessed 2017.01.27.)
- [4] J. Berkhout, D.O. Walter, "Temporal Stability and Individual Differences in the Human EEG," IEEE Transactions on Biomedical Engineering,

- BME-15(3), pp.165-168, April 2008
- [5] H. Van Dis, M. Corner, R. Dapper, G. Hanewald, and H. Kok, "Individual Differences in the Human Electroencephalogram during Quiet Wakefulness," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 47(1), pp. 87-94, July 1979
- [6] J. Ma, J.W. Minett, T. Blu, and W. Wang, "Resting State EEG-Based Biometrics for Individual Identification Using Convolutional Neural Networks," *EMBC*, pp. 2848-2851, Aug. 2015
- [7] T. Pham, W. Ma, D. Tran, P. Nguyen, and D. Phung, "A Study on the Feasibility of using EEG Signals for Authentication Purpose," *ICONIP*, pp. 562-569, Nov. 2013
- [8] "Normal EEG Waveforms," <http://emedicine.medscape.com/article/1139332-overview> (accessed 2017.01.27.)
- [9] "EMITOV EPOC+," <https://www.emotiv.com/epoc/> (accessed 2017.01.30.)
- [10] "NeuroSky MindWave Mobile," <http://store.neurosky.com/pages/mindwave> (accessed 2017.01.30.)
- [11] W. Khalifa, A. Salem, M. Roushdy, and K. Revett, "A Survey of EEG Based User Authentication Schemes," *INFOS*, pp. (BIO)55-60, May 2012
- [12] S. Marcel, J.R. Millan, "Person Authentication Using Brainwaves (EEG) and Maximum A Posteriori Model Adaptation," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(4), pp. 743-748, April 2007
- [13] S. Sun, "Multitask Learning for EEG-Based Biometrics," *ICPR*, pp. 51-55, Dec. 2008
- [14] C. Ashby, A. Bhatia, F. Tenore, and J. Vogelstein, "Low-Cost Electroencephalogram (EEG) based Authentication," *NER*, pp. 442-445, April 2011
- [15] J. Chuang, H. Nguyen, C. Wang, and B. Johnson, "I think, therefore I am: Usability and Security of Authentication using Brainwaves," *USEC'13*, pp. 1-16, April 2013

- [16] M. Abo-Zahhad, S.M. Ahmed, and S.N. Abbas, "A new multi-level approach to EEG based human authentication using eye blinking," *Pattern Recognition Letters*, 82(P2), pp. 216-225, Oct. 2016
- [17] "MindWave Mobile: User Guide," http://download.neurosky.com/support_page_files/MindWaveMobile/docs/mindwave_mobile_user_guide.pdf (accessed 2017.01.30.)

〈저자 소개〉



조진만 (CHO, JIN-MAN)
정회원

1989년 : 충남대학교 계산통계학 과 졸업

1991년 : 충남대학교 전자계산학과 석사

1991년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

관심분야 : 인증, 개인정보보호, 스마트카드



고한규 (Han-Gyu Ko)

2005년 8월 : 한동대학교 전산전자공학부 학사

2007년 8월 : 과학기술연합대학원 정보보호공학 석사

2016년 8월 : 한국과학기술원 전산학과 박사

2016년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 박사후연수연구원

관심분야 : 머신러닝, 인증, 개인정보보호

**최 대 선 (Daeseon Choi)**

종신회원

1995년 2월 : 동국대학교 컴퓨터공
학과 학사1997년 2월 : 포항공과대학교 컴퓨
터공학과 석사2009년 1월 : 한국과학기술원 전산
학과 박사

1997년 1월~1999년 6월 : 현대정보기술 선임

1999년 7월~2015년 8월 : 한국전자통신연구원 인증기술연
구실 실장/책임연구원

2015년 9월~현재 : 공주대학교 의료정보학과 부교수

현재 : 정보보호학회 이사

관심분야 : 인증, 개인정보보호, 이상거래탐지, 의료정보보
안, 머신러닝