

웨어러블 디바이스 적용을 위한 심전도 기반 인증 기술 개발

황호빈¹, 권혁찬², 정병호², 김인영¹, 이종실^{1*}

한양대학교 생체의공학과¹, 한국전자통신연구원²

Development of ECG-based authentication technology for wearable device application

Ho Bin Hwang¹, Hyeokchan Kwon², Byungho Chung², In Young Kim¹, Jongshill Lee^{1*}

¹Department of Biomedical Engineering, Hanyang University, Korea

²Information security research division (ETRI), Korea

*netlee@hanyang.ac.kr

Abstract

With the rise of the untact-society, documents in many fields such as business information, corporate confidential information, and personal information have been digitized, and a security method with high security from the outside is required. Although the electrocardiogram-based authentication technology is attracting attention as a security method described above, there remain objectives to be achieved to implement it in a wearable device. In this study, we implement methods to apply the ECG authentication technology to real-life based on wearable devices and evaluate the results for use in future research. To implement it in a wearable device, we want to minimize the variability of the electrocardiogram within an individual and provide personal information using 2D features. As a result of this study, 4.56% FAR, 2.08% FRR, and 96.68% ACC were obtained using only 2D features. Through this result, ECG authentication can be applied to wearable devices, and it is expected that ECG authentication using a smartwatch will be possible.

1. 연구 배경

최근, 웨어러블 디바이스 및 스마트폰 발전을 통해 개인 정보와 생체신호 수집이 용이해지며 개인 정보 보호에 대한 관심이 대두되고 있다. 특히, 언택트 사회로 들어서면서 대부분의 정보, 개인정보, 문서들이 디지털화 되었으며 외부에 노출을 방지하기 위해 보안 방법은 필수적으로 이용된다. 일반적으로 사용하는 보안 방법은 ID/PW, 토큰, 패턴, 숫자 조합 등이 존재하며 이러한 방법들은 많은 기기, 사이트, 플랫폼에서 쓰이고 있다. 하지만, 앞서 설명한 보안 방법의 경우 보안을 해제하기 위해서는 개인이 설정한 암호를 기억해야하는 불편함과 보안 해제를 위해 보안에 접근할 때 제 3자의 시각적인 스푸핑 시도에 취약한 면모를 보인다.

기존 보안 방법의 취약점을 보완하기 위해 많은 연구들이 생체 정보를 정보 보안하는 데에 응용하고 있다. 생체 정보를 이용한 보안 방법을 생체인증이라고하며 사람의 생리학적 혹은 행동학적 정보를 토대로 개인 간을 구분한다. 생체인증 방법은 대표적으로 지문, 홍채 인식, 얼굴 인식 등이 있지만, 생체 정보의 고정된 패턴이나 생체인증 후 남은 흔적을 통해 여전히 스푸핑 시도에 취약했다. 이에 따라 생체 내 신호를 이용하는 방법이 제시되었다. 생체 내 신호를 이용하면 기존 생체인증에서 나타나는 문제점을 해결할 수 있으며 신호의 복잡성을 통해 보안성도 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 생체 내 신호로는 뇌파, 근전도, 광용적맥파, 등이 있다. 이러한 생체 내 신호는 측정할 때마다 사용자의 직접적인 접촉을 필요로 하며, 측정 후 스푸핑 도구에 이용할 수 있는 흔적을 남기지 않는다. 그 중에서도 심전도는 다른 생체 내 신호들에 대비하여 측정의 편의성과 신호의 복잡성으로 인해 보안 시스템에서 보안 소스로 적용할 수 있다.

심전도를 이용한 개인인증을 진행한 기존 연구들은 다양하지만, 대부분의 연구는 실험실에서 측정된 심전도를 이용하였다. 실제 웨어러블 디바이스에서 측정된 심전도를 이용하여 실생활에 적용할 수 있는지 평가한 연구들은 많지 않으며 웨어러블 디바이스에서 구현하기 위한 심전도

신호처리 방법은 다양한 연구에서 필요로 하고 있었다 [1].

본 논문에서는 웨어러블 디바이스를 이용하여 측정된 심전도에 기반한 개인 인증 알고리즘을 개발함에 있어 전체적인 작업의 흐름과 현재까지 진행된 부분 및 향후 계획에 대해 기술한다.

2. 연구 방법

본 연구는 심전도 신호 해석 및 분석을 위해 MATLAB software에 포함되어 있는 Digital signal process tool을 이용하여 신호처리를 진행하였으며 Statistics and Machine Learning Toolbox를 통해 개인 인증 모델을 개발하였다.

2.1 Dataset

심전도 데이터의 경우 연구실 환경에서 휴식 상태를 유지하며 측정된 15명의 피험자로 구성되어 있다. 데이터는 각 피험자 별로 최소 6달 이상 측정되었으며, 1회 측정 시 20초 길이의 데이터를 측정하였다.

2.2 Pre-processing

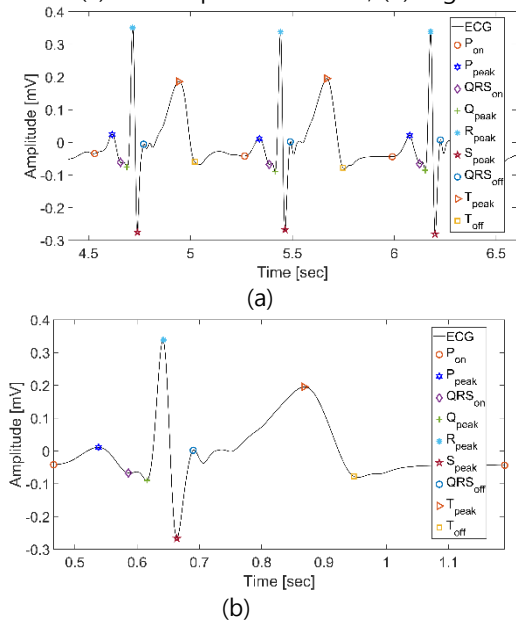
심전도 신호는 체표면에서 측정하기 때문에 신호 크기가 작아 증폭하는 과정이 필요한데, 증폭하는 과정에서 원신호를 제외한 노이즈들도 증폭될 수 있다. 노이즈의 종류로는 전원 노이즈, 호흡, motion artifact 등이 있으며 해당 노이즈를 제거하기 위해 본 연구에서는 IIR filter를 이용하여 0.5Hz 이하의 호흡에 의한 기저선 노이즈 및 60Hz의 전원 노이즈를 제거하고 이후에도 제거되지 않는 노이즈는 wavelet de-noing 방법을 통해 제거하였다.

2.3 Fiducial point detection and Segmentation

정상적인 ECG는 5가지의 fiducial points를 포함하고 있다. Fiducial points가 반복적으로 ECG에서 발생하기 때문에 연속적인 ECG에서 반복적인 정보를 추출하여 개인 고유 특성으로 이용하는 것은 비효율적일 수 있다. 따라서, 본 연구는 Martinez et al. [2] 에 기재된 알고리즘을 기반으로 기본적인 fiducial points를 탐지하고 연속적인 ECG를 beat

단위로 분할하였다. 하나의 beat는 P_{on} 에서 P_{on} 까지 고정 간격으로 정의했다.

그림 1. (a) fiducial point detection; (b) segmentation



2.4 Normalization

개인 내에서도 신체 활동 및 심리적 변화로 인해 심박수 변화가 발생할 수 있다. 이러한 심박수 변화는 심전도 파형의 변화를 유발할 수 있으며, 등록 시 이용한 심전도와 차이로 인해 인증이 원활히 이뤄지지 않을 수 있다. 따라서, 본 연구는 Nonlinear 정규화 방법을 이용하여 심박수에 따라 발생할 수 있는 심전도 변화를 최소화 할 수 있도록 하였다 [3].

2.5 Feature extraction

웨어러블 디바이스로부터 추출한 심전도 신호는 전문기에 비해 신호의 품질 및 강도가 좋지 않기 때문에 추가적인 특징 추출 방법이 추가되어야한다. 따라서, 본 연구에서는 신호가 뚜렷하지 않은 심전도 신호를 기반으로 개인 특징점을 추출하기 위해 기존에 이용되는 1D based feature 와 함께 State space reconstruction를 통한 2D feature를 추가적으로 추출하였다 [4]. 이 때 State space reconstruction 파라미터는 $\tau = 20$ msec, $m = 2$ 로 설정하여 진행하였다.

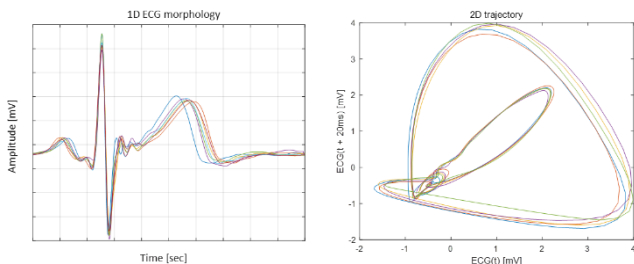


그림 2. 1D ECG 파형과 state space reconstruction 결과

2.6 Authentication

개인 인증을 위한 인증 모델로는 심전도 기반 인증 연구들에서 빈도 높게 이용되는 SVM(support vector machine)을 이용하여 개발하였다. 개인 인증을 위한 모델 훈련의 경우 one vs rest 방법을 구현하여 등록자 한 명에 대한 데이터와 등록자 데이터 수와 동일한 크기의 데이터를

등록자를 제외한 피험자로부터 랜덤하게 추출하였다. 즉, 인증 모델은 개인마다 생성되어 모델 성능을 평가하였다.

3. 연구 결과

연구 결과는 피험자 개인마다 1D feature만을 이용한 모델과 2D feature만을 이용한 모델을 생성하여 총 2개의 인증 모델을 생성하고 각 모델에 대해 평가하여 얻었다.

인증 모델의 성능은 정오분류표에 기반하여 KPI를 도출해 평가하였다. KPI 지표 중에서도 ACC (accuracy), FAR (false acceptance rate), FRR (false rejection rate) 지표를 통해 인증 모델 성능을 비교하였다.

1D feature만을 이용한 인증모델의 경우 15명에 대해 평균적으로 FAR 2.13 %, FRR 1.29 %, ACC 98.29 %을 달성했다. 동일한 피험자에 대해 2D feature만 이용한 인증모델의 경우 평균 FAR 4.56 %, FRR 2.08 %, ACC 96.68 %을 달성하여 2 종류 feature 모두 인증에 사용하기 적합하다는 결과를 확인할 수 있었다.

표 1. 1D feature 기반 평균 모델 성능

	FAR	FRR	ACC
Average	2.13 %	1.29 %	98.29 %

표 2. 2D feature 기반 평균 모델 성능

	FAR	FRR	ACC
Average	4.56 %	2.08 %	96.68 %

4. 향후 연구 방향

본 논문에서는 웨어러블 디바이스에 기반한 심전도 측정을 통해 개인 인증 알고리즘을 개발하고자 다양한 노이즈 및 약한 신호로부터 개인 인증 성능을 유지할 수 있는 다양한 전처리 방법을 구현하였으며, 해당 방법을 통해 인증 성능이 기존 연구들과 비교하여 준수한 성능을 보이는 것을 확인하였다.

향후 연구에서는 상용화되어 있는 웨어러블 디바이스를 이용한 데이터 측정을 진행하고 전문기와 신호 품질을 비교하여 차이점을 보정할 수 있는 알고리즘을 개발할 것이다. 이를 통해 웨어러블 디바이스에서도 심전도 기반 개인 인증이 가능하며 미래의 보안방법으로 이용될 수 있다는 것을 보여줄 수 있을 것으로 기대된다.

5. Acknowledgements

이 논문은 과학기술정보통신부에서 시행한 한국전자통신연구원 정보보호핵심원천기술개발사업 "안전한 의료/헬스케어 서비스를 위한 커넥티드 의료기기 해킹대응 핵심기술개발(No. 2020-0-00447) 과제 의 위탁연구개발과제 논문입니다.

6.참고 문헌

[1] Tirado-Martin, P.; Sanchez-Reillo, R. BioECG: Improving ECG Biometrics with Deep Learning and Enhanced Datasets. Appl. Sci. 2021, 11, 5880.
 [2] Martinez, J.P.; Almeida, R.; Olmos, S.; Rocha, A.P.; Laguna, P. A wavelet-based ECG delineator: Evaluation on standard databases. IEEE Trans. Biomed. Eng. 2004, 51, 570–581.
 [3] Hwang, H.B.; Kwon, H.; Chung, B.; Lee, J.; Kim, I.Y. ECG Authentication Based on Non-Linear Normalization under Various Physiological Conditions. Sensors 2021, 21, 6966
 [4] Zhang Q, Zhou D. Deep Arm/Ear-ECG Image Learning for Highly Wearable Biometric Human Identification. Ann Biomed Eng. 2018 Jan;46(1):122-134.