

# 장애인 상지 재활운동 지원을 위한 실시간 웨어러블 시스템

오수빈<sup>1</sup>, 강민정<sup>1</sup>, 이민구<sup>2</sup>, 이상민<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>광운대학교 인공지능응용학과 석사과정  
<sup>2</sup>고려대학교 의과대학 생리학교실 교수  
<sup>3</sup>광운대학교 인공지능응용학과 교수

sboh0020@gmail.com, minjkang0901@gmail.com, mingoolee@korea.ac.kr, smlee5679@gmail.com

## A Realtime Wearable System for Upper Body Rehabilitation of Disabled

Su-Bin Oh<sup>1</sup>, Min-Jeong Kang<sup>1</sup>, Min-Goo Lee<sup>2</sup>, Sang-Min Lee<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Dept. AI Applications, Kwangwoon University  
<sup>2</sup>Dept. of Physiology, Korea University Medicine College  
<sup>3</sup>Dept. of AI Applications, Kwangwoon University

### 요 약

본 연구는 웨어러블 디바이스를 활용하여 장애인 재활운동 보조를 위한 AI 기반의 맞춤형 서비스 개발을 소개한다. 해당 서비스는 웨어러블 디바이스를 장착한 상태로 운동 중인 사용자의 심박수, 소모 칼로리, 운동 시간 등의 센서 데이터를 수집 및 관리한다. 사용자 생체 데이터는 클라이언트 서버 간 실시간 통신으로 관리되며, django rest framework 로 구축된 서버에 저장된다. 제안 시스템을 통해 수집된 데이터는 시계열 군집화 분석을 위해 k-means clustering 과 k-shape clustering 을 활용하여 체력 평가의 핵심 지표인 심박수를 분석하였다. 특히, 상대적으로 운동이 어려운 장애인 사용자를 위한 맞춤형 운동능력 분석 및 해석에 대한 정보 제공이 가능하다.

### 1. 서론

최근 장애인의 재활운동을 보조하는 인공지능 기술이 주목받고 있으며, 이러한 재활서비스의 필요성이 점점 증가하고 있다. 특히 상지 재활운동과 관련하여 뇌 병변 및 지체 장애인들은 정도나 증상에 따라 환자마다 운동능력이 다르며, 이에 대한 평가를 직접 주관적으로 판단하기에는 어려운 문제가 존재한다. 본 논문은 장애인의 상지 재활운동을 보조하는 인공지능 기술에 대해 운동 능력 평가 및 해석에 도움을 줄 수 있는 데이터를 수집 및 관리하기 위한 실시간 웨어러블 시스템을 소개한다. 상지 재활운동을 하는 장애인들이 웨어러블 디바이스를 사용하여 운동 중 자동으로 생체 정보를 취합할 수 있다.

### 2. 제안 시스템

웨어러블 디바이스를 통해 수집된 데이터를 기반으로

로 상지 재활운동을 보조하는 서비스 제공 과정은 (그림 1)과 같다. 사용자가 웨어러블 디바이스인 스마트 워치로 본 시스템에서 개발한 애플리케이션을 통해 본인 계정으로 로그인 한 후 재활운동을 시작하면 사용자 정보를 기반으로 운동 중의 생체 데이터가 수집된다. 해당 데이터들은 HTTP 클라이언트 모듈로부터 실시간 원격 서비스를 통해 HTTP 서버로 전송되며 데이터베이스에 저장된다. 서버에서는 데이터베이스를 운용하며 재활운동을 보조하는 특정 인공지능 기술의 학습 데이터 제공과 함께 사용자 맞춤 모니터링 서비스를 제공한다.

#### 2-1. 클라이언트 모듈

클라이언트 모듈은 안드로이드 웨어러블 디바이스를 기반으로 구축되었다. 웨어러블 디바이스의 센서를 통해 사용자의 생체 데이터를 측정하기 위한 구글 안드로이드의 Health Services API[1]를 활용한다. 해당



(그림 1) 웨어러블 디바이스를 활용한 재활운동 보조 인공지능 서비스 제공 예시

API 는 모든 피트니스 및 건강 관련 센서를 자동으로 구성하고 본 논문에서 구축하고자 하는 생체 정보대한 인터페이스를 제공한다.



(그림 2) 웨어러블 디바이스

웨어러블 디바이스에 맞춰진 user interface(UI) 구성은 (그림 2)와 같다. 사용자 구분을 위한 지정 번호를 입력하면 센서 데이터의 측정이 시작되며, 해당 UI 는 (그림 2-a)과 같다. (그림 2-b)에서는 운동 시간, 심박수, 누적 소모 칼로리, 이동 거리, 운동 멈춤 횟수를 확인할 수 있으며, 심박수와 누적 소모 칼로리 데이터는 1 초마다 업데이트 된다. 이때 디바이스 자체의 센서 측정 오류로 발생하는 누락된 데이터 처리하기 위해 시계열성 특징을 이용한다. 해당 데이터들은 연속적인 값을 가지는 특징이 있으므로 누락된 데이터에 대해서 이전 값으로 대체하고, 처리 속도의 차이로 인한 데이터 전송 속도를 맞추기 위해 queue 구조를 사용해 실시간 업데이트되는 데이터를 관리한다. 서버 모듈로 수집된 데이터를 전송하기 위해 본 시스템은 HTTP 통신 프로토콜을 사용한다.

## -2. 서버 모듈

2 서버 모듈에서는 django rest framework 를 사용하여 데이터베이스를 구축 및 관리한다. 클라이언트 모듈 내에서 서버 모듈과의 통신을 할 때 기존 데이터베이스 형식에 맞춰 보내는 과정을 실시간으로 수행한다. 또한 시스템 관리자 및 사용자의 데이터 접근을 용이하게 하기 위해서 인증된 방식으로 데이터를 다운받을 수 있도록 웹 인프라를 구축하였다.

## 3. 데이터 분석

### 3-1. 심박수 시계열 데이터

장애인의 상지 재활운동 지원을 위한 데이터로 체력 평가에 핵심 지표인 심박수 데이터 중심으로 분석을 진행했다. 수집된 데이터는 모두 동일한 운동 시간에 측정된 것이 아닌 각자의 운동을 할 때 수집된 데이터이다. 따라서 데이터의 길이가 각각 다르다는 특징을 가진다. 이러한 특징을 고려하여 유사한 심박수 추이를 보이는 사용자들의 군집 확인을 목표로 분석했다.

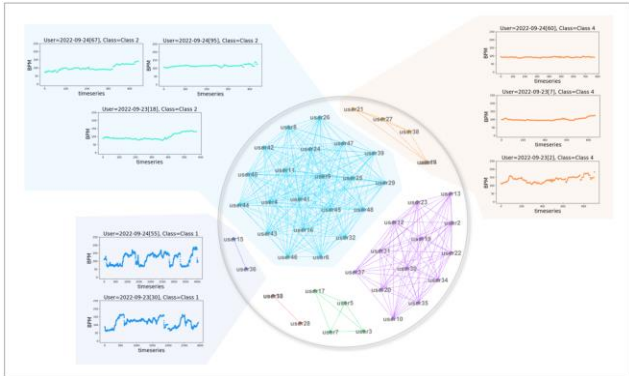
### 3-2. 군집 분석 결과

군집 분석을 위해 사용한 기법은 k-shape clustering[2]과 time series k-means clustering[3]이다. 심박수 시계열 데이터의 길이가 다르고 다른 속도, 움직임 가진다는 측면에서 시간 축에 대한 좌상의 유사도를 측정할 수 있는 dynamic time warping(DTW)를 활용하여 유사도 측정을 수행하였다. 특히, 심박수의 유사함을 군집화 하는데 있어 클러스터 수는 sum of squared error(SSE)를 기준으로 두 알고리즘 모두 k=6 으로 설정하고 군집화 분석을 진행했다.

#### - K-shape clustering

K-shape clustering 은 각 클러스터의 형태를 모양 기반으로 식별하기 때문에 센서를 통해 수집된 개인의 심박수 데이터를 분석하기에 적합한 기법이다. K-means clustering 과 유사한 방식으로 진행되지만, 거리 계산하는 방법에서 차이가 있다. K-shape clustering 를 이용하여 군집 분석한 결과는 (그림 3)과 같다. (그림 3)을 보면 유사한 군집끼리 군집화 되었음을 확인할 수 있다. 하늘색 군집을 보면 처음에는 심박수가 안정적이지만 시간이 지날수록 점점 숨이 차는 특징이 보이는 군집이 형성되었다. 또한 주황색 군집을 확인해보면 하늘색 군집과 비슷하지만 하늘색 군집보다 변동성(fluctuation)이 크지 않은 군집이 모였고, 운동을 열심히 하지 않아서 숨이 가쁘지 않았다고 해석될 수 있다. 마지막

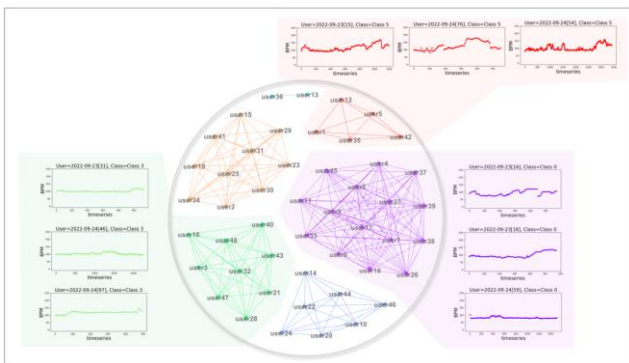
예시로 파란 군집을 확인해보면 이전 두 군집보다 심박수의 변동성이 크지만 신호가 단기적으로 급증한 데이터들이기 때문에 운동량을 단계적으로 올리고 있다고 해석할 수 있다.



(그림 3) k-shape clustering 결과

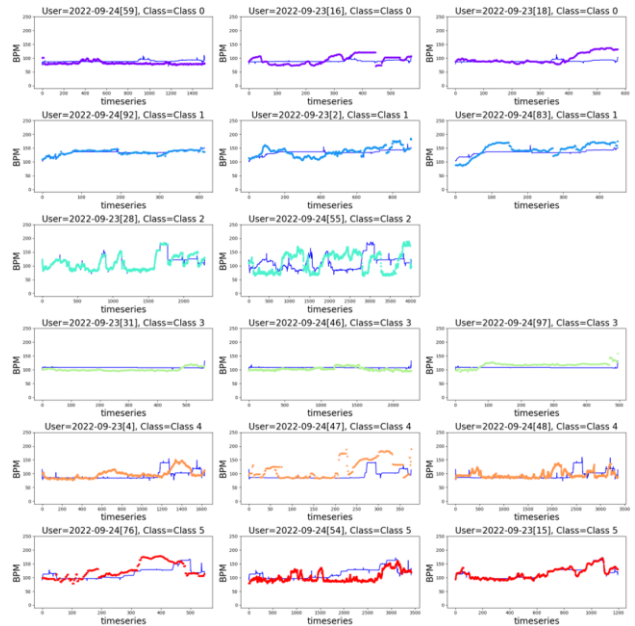
**- K-means clustering**

Series k-means clustering 는 기존 k-means 알고리즘에서 유사도 측정 평가지표에 대한 설정을 추가하여 시계열 데이터의 특징을 반영한 기법이다. K-means 는 가장 일반적인 형태를 가지는 군집화 기법이며, k-shape clustering 과 다르게 군집의 중심을 이용해 데이터를 군집에 할당한다. Time series k-means clustering 을 이용하여 군집 분석한 결과는 (그림 4) 와 같다. 녹색 군집을 보면 변동성이 크지 않아 운동을 열심히 해야 하는 군집으로 구분할 수 있고, 보라색 군집은 운동을 지속적으로 하는 군집으로 구분할 수 있다. 반면, 빨간색 군집은 심박수가 지속적으로 증가하는 양상으로 보아 변동성이 크지 않고 자신의 운동 능력에 맞게 운동을 하고 있다고 해석할 수 있다.



(그림 4) series k-means clustering 결과

또한 (그림 5)는 군집분석 결과에 대해 각 6 개의 군집에 대한 centering 값을 추출하여 시각화한 결과이다.(그림 5)를 통해 각각의 군집이 유사한 패턴을 가지는 데이터들에 맞춰 군집화 되었음을 확인할 수 있다.



(그림 5) k-means clustering 결과에 대한 군집 시각화

**4. 결론**

본 논문에서는 장애인의 상지 재활운동 보조를 위한 데이터 관리 인프라 구축 시스템을 제안한다. 클라이언트 모델에서 운동 시간, 심박수, 누적 소모 칼로리, 이동 거리, 운동 멈춤 횟수를 포함하여 총 4 개의 데이터를 구축하였고, 이 외에도 더 다양한 센서 데이터를 수집할 수 있다. 추가로 데이터 관리 측면에서도 사용자의 연령, 성별, 장애 유형 등 사용자 정보에 대한 데이터와 연결하여 새로운 데이터 베이스를 구축하면 사용자 맞춤 서비스를 제공할 수 있다. 이러한 부분들을 더 보완하면 인공지능 서비스에 보편적으로 활용 가능한 시스템이 될 것이라 생각한다.

**감사의 글**

본 연구는 보건복지부 국립재활원 의료적 관리가 필요한 장애인을 위한 재활운동기기 개발 및 임상 중개 연구-상지운동기기(TRSRE-Eq01)으로 수행되었습니다.

**참고문헌**

[1] <https://developer.android.com/training/wearables/health-services?hl=ko> (Avalbe:2023-04-17)  
 [2] Paparrizos, J., Gravano, L. (2015, May). k-shape: Efficient and accurate clustering of time series. In Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD international conference on management of data (pp. 1855-1870).  
 [3] Tavenard, R., Fouzi, J., Vandewiele, G., Divo, F., Androz, G., Holtz, C., Woods, E. (2020). Tslern, a machine learning toolkit for time series data. The Journal of Machine Learning Research, 21(1), 4686-4691.