

# Feedback-RFC Model to Individualize Heartbeat Standards

Taehyun Kim<sup>†</sup> · Pilsu Jung<sup>\*\*</sup> · Seonah Lee<sup>\*\*\*</sup> · Ki-Sook Chung<sup>\*\*\*\*</sup> ·  
Changsup Keum<sup>\*\*\*\*\*</sup> · Sungwon Kang<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Many of the wearable smart fitness devices provide services related to users' heartbeat rates. These services use fixed standards which have been pre-determined based on statistical data. However, because body conditions significantly differ between individuals, the services applying fixed standards to all individuals are not reliable. This paper proposes the Feedback-RFC model which adapts heartbeat standards to individual users' exercise abilities and also proposes a method to implement the model. This paper also shows the effectiveness of the Feedback-RFC model by collecting heartbeat data from 12 participants and evaluating the model with the data.

Keywords : Smart Fitness, Machine Learning, Feedback

# 개인별 심박수 기준을 설정하기 위한 피드백-RFC 모델

김 태 현<sup>†</sup> · 정 필 수<sup>\*\*</sup> · 이 선 아<sup>\*\*\*</sup> · 정 기 숙<sup>\*\*\*\*</sup> · 금 창 섭<sup>\*\*\*\*\*</sup> · 강 성 원<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## 요 약

많은 웨어러블 스마트 피트니스 장치들이 심박수와 관련된 서비스를 제공한다. 이러한 서비스는 통계를 기반으로 사전 결정된 고정 수치를 기준으로 이용한다. 그러나 사람들의 신체조건은 개개인마다 다르기 때문에, 모든 개개인을 같은 기준으로 적용하는 서비스는 신뢰성이 낮다. 본 논문에서는 사용자의 운동 능력에 맞추어 심박수의 기준이 변동하는 피드백-RFC 모델과, 모델을 구현하는 방법을 제안한다. 그리고 12명의 실험참가자들로부터 심장박동 데이터를 수집하여 모델을 평가함으로써 제안 모델의 효용성을 보인다.

키워드 : 스마트 피트니스, 머신 러닝, 피드백

## 1. 서 론

웨어러블 스마트 피트니스 장치가 널리 쓰이게 되면서 사용자의 심박수를 실시간으로 측정하고 이를 기반으로 운동 강도를 추천하는 서비스에 대한 관심도 높아지고 있다. 이러한 서비스를 제공하기 위해서는 사용자의 심박수가 얼마나 높은지 판단할 기준이 필요한데, 많은 제품들은 회사가

자체적으로 만든 기준이나, 기존 연구에서 제시한 기준을 사용하고 있다. 이러한 기준들 대부분이 다양한 연령대의 실험참가자들로부터 수집한 심박수 데이터에 나이에 대해 선형 회귀법을 적용해 만들어 진 것들이다. 예를 들어 대중적으로 널리 알려져 있는 기준 중 하나인 Fox와 Haskell의 방법은 Equation (1)과 같다.

$$HR_{max} = 220 - age \quad (1)$$

이러한 심박수 기준은 각 연령대에서의 평균값에 가깝기 때문에 '평균적이지 않은' 운동능력을 가진 다양한 사용자들 이 위의 기준을 채택한 서비스를 이용할 경우 신뢰도가 떨어지는 문제가 발생한다.

본 논문은 사용자의 운동능력에 따라 심박수의 기준을 개인 별로 결정해주는 피드백-RFC모델을 제안한다. 피드백-RFC 모델은 피드백 모듈과 RFC 모듈로 이루어져있다. RFC 모듈

※ 이 논문은 정부의 재원으로 한국전자통신연구원의 주요사업으로 수행한 연구임(16Z11410, 단말 근접 실시간 스마트 서비스추진플랫폼 기술 개발). 또한 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2015R1C1A2A01055111).

† 비 회 원 : KAIST 전산학 석사과정  
\*\* 비 회 원 : KAIST 전산학 박사과정  
\*\*\* 중신회원 : 경상대학교 항공우주 및 소프트웨어공학전공 조교수  
\*\*\*\* 정 회 원 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
\*\*\*\*\* 정 회 원 : 한국전자통신연구원 신뢰통신서비스플랫폼연구실 실장  
\*\*\*\*\* 중신회원 : KAIST 전산학부 부교수

Manuscript Received : March 28, 2016  
First Revision : July 13, 2016  
Accepted : July 14, 2016  
\* Corresponding Author : Seonah Lee(saleese@gnu.ac.kr)

은 최종적인 심박수 기준을 결정하기 위해 Random Forest Classifier(RFC) 알고리즘을 사용한다. RFC 알고리즘은 결정 트리 기법을 다수의 결정 트리로 확장시켜 신뢰성 있는 분류를 학습하는 머신러닝 기법이다. 수천, 또는 수만개나 되는 심박수 데이터를 분류하기 위해 RFC 를 학습시키기 위해서는 심박수 데이터를 해당 심박수가 속한 단계에 따라 라벨링 해야 한다. 이 때 단계는 개인 별로 다를 수 있기 때문에, 피드백 모듈이 필요하다. 제안 모델에서 피드백 모듈은 심박수 데이터를 라벨링 할 때 사용되는 기준을 사용자 개개인의 운동능력에 따라 조절한다. 본 논문에서 제안하는 피드백-RFC모델은 사용자가 신체 활동을 수행할 때 측정된 심박수에 따라 개인화한 기준을 결정하며, 이러한 개인화한 기준을 바탕으로 사용자가 취해야 할 행위를 추천하는데 사용된다.

모델의 효용성을 평가하기 위해 심박수 기준의 개인화도를 측정하기 위한 메트릭을 정의하고 12명의 실험 참가자들로부터 운동데이터를 수집하였다. 데이터를 수집, 분석하여 모델을 평가한 결과, 사용자의 운동능력에 알맞은 심박수 기준과 스마트 피트니스 장치에 설정되어있는 심박수 기준사이의 차이가 모델을 적용하기 전에 비해 70%까지 감소하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2절에서는 피드백-RFC 모델과 관련된 기존 연구들을 소개한다. 제 3절에서는 피드백-RFC 모델에 대한 구체적인 소개를 하고 제 4절에서는 피드백-RFC 모델을 평가하기 위한 메트릭과 평가방법을 토대로 수행한 실험을 소개한다. 제 5절에서는 실험의 결과에 대해서 설명한다. 마지막으로, 제 6절에서는 제안 방법의 기여와 향후 연구방향에 대해 논의한다.

## 2. 관련 연구

피드백-RFC 모델에 관련된 연구는 크게 세 종류로 분류할 수 있다. 본 연구에서 피드백-RFC 모델의 적용 대상인 심박수 기준에 관한 연구, 심박수 기준을 사용하는 스마트 피트니스 추천 서비스에 관한 연구, 그리고 본 모델이 사용하는 머신러닝 알고리즘인 RFC에 관한 연구 특히 RFC의 정확도를 실험하는 연구이다.

2.1에서는 심박수 기준에 관한 연구를, 2.2절에서는 스마트 피트니스의 추천 서비스에 관한 연구를, 마지막으로 2.3에서는 RFC에 관한 연구를 소개한다.

### 2.1 심박수 기준에 대한 연구

과거에 최적의 운동효과를 얻을 수 있는 심박의 기준을 찾는 연구들이 있었다. 그 연구들은 사람의 최대 심박수를 찾는 연구, 최대심박수로부터 최적운동효과를 얻을 수 있는 목표심박수를 찾는 연구, 그리고 사람의 심박수를 운동효과에 따라 여러 구간으로 분류하는 연구이다.

#### 1) 최대 심박수

일반적으로 최대 심박수란 사람이 생명에 위협이 되지 않는 강도로 운동했을 때 최대도 도달할 수 있는 심박수를 말한다.

Fox et al.[1]은 최대 심박수를 Equation (2)와 같이 정의하였다.

$$HR_{\max} = 220 - age \quad (2)$$

Tanaka et al.[2]은 최대 심박수를 Equation (3)과 같이 정의하였다.

$$HR_{\max} = 208 - (0.7 \times age) \quad (3)$$

#### 2) 휴식 및 목표 심박수

휴식 심박수는 사람이 깨어있는 상태에서 아무런 운동을 하지 않았을 때 측정되는 심박수이다. 그리고 목표 심박수란 사람이 유산소 운동을 할 때 심장과 폐가 최대의 운동효과를 얻을 수 있는 심박수를 말한다. Karvonen et al.[3]은 목표 심박수를 Equation (4)와 같이 정의하였다.

$$THR = ((HR_{\max} - HR_{rest}) \times \%intensity) + HR_{rest} \quad (4)$$

Equation (4)에서 말하는 %intensity는 운동강도를 의미하며 최적의 운동효과를 위한 intensity는 65-85%라고 한다. 이 외에 Zoladz et al.[4]는 목표심박수를 Equation (5)와 같이 정의하였다.

$$THR = HR_{\max} - (60 - 10n) \pm 5 \quad (5)$$

여기에서 n은 심박수 영역의 단계를 의미하며 단계가 작을수록 운동이 강도가 약한 것이며 단계가 클수록 운동의 강도가 센 것이다.

#### 3) 심박수 영역

심박수 영역이란 사람의 심박수를 그 크기에 따른 운동효과를 기준으로 몇 개의 영역으로 나누는 몇 개의 범위를 말한다. 자주 쓰이는 방법은 Karvonen의 방법을 이용해 %intensity를 50%에서 90%까지 10% 간격으로 나누는 것이다. 이 외에 Fitbit Inc에서는 판매하는 장치들은 96에서 220까지의 고정된 구간을 셋으로 나누어 분류하는 방법을 사용한다.

#### 4) 심박수 기준 연구들의 한계

앞에서 언급한 연구들은 대부분 공통적으로 다수의 실험 자료로부터 측정된 데이터에 나이라는 변수에 대해 선형 회귀법을 사용한 것이라는 공통점이 있다. 이러한 선형모델들은 다수의 사람들의 전체적인 경향을 나타내기에는 적합하지만, 다양한 신체조건을 가진 사용자 개개인의 특성을 반영하지는 못한다는 한계가 있다.

## 2.2 스마트 피트니스 추천 서비스에 관한 연구

과거에 사용자로부터 수집한 데이터를 활용하여 사용자에게 스마트 피트니스 추천 서비스를 제공함으로써 사용자의 운동 효과를 향상시키는데 도움을 주는 연구를 수행하였다. 이들은 사용자의 요구에 따라 일회성 정보를 추천하는 연구, 실시간 데이터 분석을 통해 적시성 정보를 추천하는 연구로 분류할 수 있다.

### 1) 일회성 정보를 추천하는 연구

일회성 정보를 추천하는 연구는 사용자의 요청 직후에 데이터 수집을 시작하고, 복잡한 데이터 분석과정 없이 정보를 추천한다. Chang[5]는 사용자의 유산소능력(aerobic capacity)을 측정하여 심폐 건강을 진단한다. 그 후, 사용자의 레벨에 맞는 운동 방법을 추천해준다. Palomares et al. [6]과 Hsu et al.[7]는 설문조사를 통해 수집한 개인 활동 정보를 기반으로 건강관리를 위한 운동 수행 방향을 추천하는 시스템을 제안하였다. 그러나 이들은 데이터를 실시간으로 분석하지 않고 변화하는 상황에 맞춰서 추천 서비스를 제공하고 있지 않기 때문에 사용자에게 실시간으로 추천 서비스를 제공할 수 없다는데 한계를 지닌다.

### 2) 적시성 정보를 추천하는 연구

적시성 정보를 추천하는 연구는 사용자의 요청 이후에 지속적인 데이터 수집과 분석 과정을 통해, 실시간으로 사용자의 상황에 맞는 적절한 추천 서비스를 제공한다. Lim et al.[8]은 사용자의 운동패턴을 실시간으로 측정하여 사용자의 운동 목표를 재차방하는 에이전트 프로그램을 개발하였다. Ho et al.[9]은 모바일 장치로 운동데이터를 수집하여 사용자가 자신이 설정한 목표를 달성하기 위한 활동을 추천해주는 시스템을 개발하였다. Spina et al.[10]와 Pernek et al.[11]은 사용자가 올바르게 운동하고 있는지 피드백을 제공하는 연구를 수행하였다. 그러나 이들은 다양하고 끊임없이 변화하는 개인의 신체 능력을 고려한 개인화된 기준을 제공하지 않기 때문에 정확하지 않은 결과를 제공한다는 한계를 지닌다.

### 3) 스마트 피트니스 추천의 한계점

앞에서 언급한 스마트 피트니스 추천의 연구들은 데이터 수집을 수행하고 이를 바탕으로 추천을 수행한다. 그러나, 추천의 기준이 개인별로 변할 수 있다는 점을 간과하여, 개인에게 적합한 추천 기준을 제공하지 않았다. 그 결과로 사용자가 기대하는 추천의 결과를 정확하게 제공하는데 한계를 보인다.

## 2.3 Random Forest Classifier (RFC)의 정확도를 평가하는 연구

Random Forest (RF) 모델은 2001년 Breiman이 최초로 제시한 앙상블 학습 방법이다[12]. 이는 다수의 결정 트리

로부터 분류 또는 회귀 분석을 통해 대규모의 데이터 셋으로부터 임의적으로 학습한다. 분류의 목적으로 사용되는 RF를 Random Forest Classifier (RFC)라고 하는데 RFC의 성능에 관련된 연구는 사례 연구를 통해 RFC의 우수성을 입증한 연구와 다른 분류 기법과 비교 분석하는 연구로 나눌 수 있다.

### 1) RFC의 성능을 입증하는 사례연구

RFC의 성능을 평가하기 위해, 사례 연구를 수행한 연구는 [13-16]가 있다. Gislason et al.[15]와 Khalilia et al.[14]은 각각 대지 표면 물질 분류와 만성 질환 위험 예측을 위해 RFC를 적용하였다. 그리고 널리 사용되는 분류 기법인 CART, boosting, bagging 기법을 적용한 결과와 비교 분석하여 RFC의 정확도가 우수하다는 사실을 증명했다. Rodriguez-Galiano et al.[16] 또한 RFC를 활용하여 대지 표현 문질을 분류하면서 그 성능을 평가하였다. 매핑 정확도, 데이터 크기에 따른 민감성, 노이즈 정도에 따른 영향력을 평가한 결과, RFC는 높은 정확도와 함께 큰 데이터에서도 막강했으며, 노이즈에 큰 영향을 받지 않는다는 결론을 얻었다. Kandaswamy et al.[13]은 antifreeze proteins (AFPs)와 non-antifreeze proteins을 구분하기 위해 random forest (RF)를 적용하였다. 기존의 유사성 기반의 검색 방법들은 이들을 제대로 구분하지 못하지만 RF는 81.33%의 높은 정확도로 구분할 수 있다는 것을 보였다.

### 2) RFC와 다른 분류기법을 비교한 연구

RFC의 성능을 다른 분류 기법과 비교 분석을 통해 우수성을 입증한 연구는 [17, 18]가 있다. 두 연구에서 RFC와 다른 분류 방법들 간의 성능을 비교 분석한 결과, SVM, DLDA, KNN 분류 기법과 달리 RFC는 다계층 분류가 가능하고 노이즈에 영향을 적게 받으며, 보다 적은 인수로 훌륭한 수준의 정확도와 훈련시간을 지닌다는 사실을 밝혔다.

### 3) RFC의 정확도 평가 연구와의 차이점

우리는 RFC가 가진 여러 이점중 적은 파라미터 개수로도 높은 정확도로 분류가 가능하다는 이점 때문에 RFC를 연구에 사용할 머신러닝 알고리즘으로 채택하였다. 그러나, 우리는 일정한 분류 기준 하에서의 정확도가 높다는 사실이 각 개인의 추천 서비스에서 반드시 정확도가 높은 것은 아니라는 사실에 주목하였다. 따라서 각 개인별 데이터 마이닝에 활용할 수 있는 분류 기준의 변화를 위해 다음 장의 피드백-RFC 모델을 제안한다.

## 3. 피드백-RFC 모델

본 연구에서 제시하는 피드백-RFC 모델은 피드백 모듈과 RFC 모듈이라는 두 세부 모듈의 결합으로 이루어져 있다. 3.1절에서는 피드백-RFC모델의 전체적인 구조와 작동방

식을 소개한다. 3.2절에서는 피드백 모듈의 자세한 작동 알고리즘을, 3.3절에서는 RFC 모듈의 작동 알고리즘을 소개한다. 마지막으로, 3.4절에서는 피드백-RFC모형을 평가할 방법을 제시한다.

3.1 피드백-RFC 모형의 전체적인 구조 및 동작순서

피드백-RFC 모형은 사람의 심박수를 그 크기에 따라 Fig. 1 과 같이 다섯 단계로 나누어 다음과 같이 정의한다.

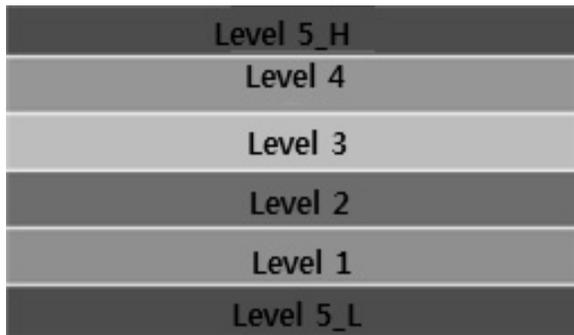


Fig. 1. Five Levels Classified According to the Number of Heart Beats

- 1단계 : 사람이 일상적인 생활을 하고 있을 때의 심박수. 운동효과가 거의 없다.
- 2단계 : 본격적인 운동을 하기 전 몸을 풀 때의 심박수. 운동효과가 미비하다.
- 3단계 : 사람이 자신의 능력 내에서 페이스를 유지하며 운동할 때의 심박수. 운동효과가 적당하다.
- 4단계 : 사람이 무리를 하여 운동 페이스를 올렸을 때의 심박수. 운동효과가 강하다.
- 5단계 : 심박수가 1단계의 최소값 보다 작거나 또는 4단

계의 최대값보다 클 경우 속하게 되는 단계로, 심박수가 극단적으로 높거나 낮아 생명이 위험할 수가 있는 심박수를 의미한다. 편의상 1단계보다 낮은 부분을 5\_L, 4단계보다 높은 부분을 5\_H라고 부른다.

그리고 각 단계에 속하기 위한 최소 심박수를 심박수 단계 기준값이라고 정의한다. 5단계의 경우 최저 단계인 동시에 최고 단계이므로 5단계의 심박수 단계 기준값만 예외적으로 둘 중 최고 단계의 최소 심박수로 정의한다.

피드백-RFC 모형은 Fig. 2와 같이 사용자의 심박수 단계 기준값이 저장되어있는 데이터베이스와 피드백 모듈, RFC 모듈로 구성되어 있다. 입력에 있어서는, 사용자로부터 시각-심박수 데이터를 입력받으면 피드백모듈이 데이터를 1차 처리해서 RFC모듈로 전달한다. 다음 1차 처리 데이터를 RFC모듈이 2차 처리한다. 그 결과 사용자의 새로운 심박수 단계 기준값을 출력하여 데이터베이스에 저장함과 동시에 사용자에게 전달한다.

피드백-RFC 모형은 다음과 같은 순서로 동작한다.

- 1) 사용자의 스마트 피트니스 장치가 사용자의 시각-심박수 데이터가 저장된 파일을 피드백-RFC 모형으로 전달한다.
- 2) 파일로부터 시각 데이터와 심박수 데이터를 추출하여 피드백 모듈을 적용시킨다. 피드백 모듈은 4단계에서 운동한 최장시간을 찾아내 그에 대응하는 피드백 크기 만큼 2~4단계의 기준을 상향 조정한다. 그리고 이를 토대로 심박수를 라벨링하여 RFC모듈로 전달한다.
- 3) 피드백 모듈로부터 전달받은 라벨링된 학습 데이터로 RFC 모형을 훈련시킨다.
- 4) 훈련이 끝난 RFC 모형에 1부터 200까지의 심박수로

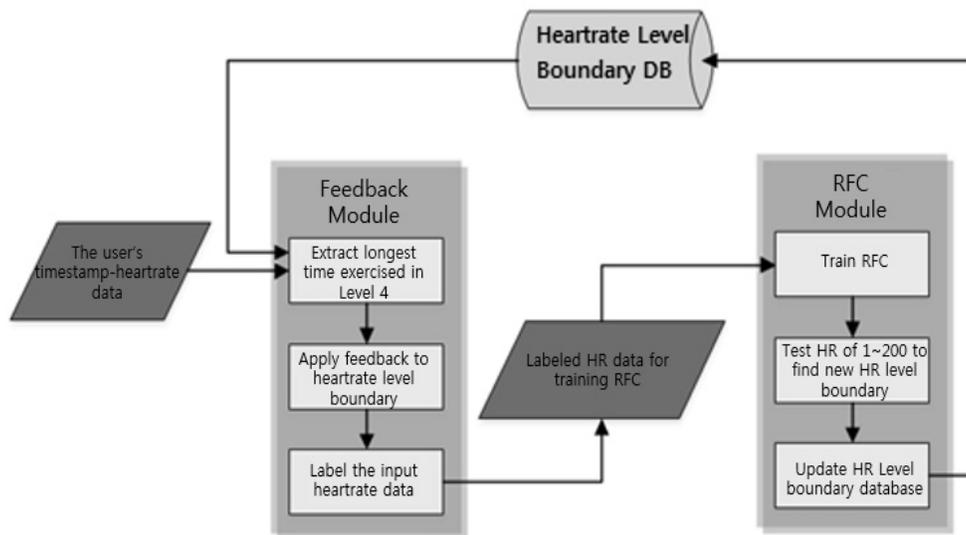


Fig. 2. The Structural Diagram of Feedback-RFC Model

테스트를 수행해 각 단계 사이의 새로운 기준값을 찾아낸다.

이 중 1), 2)는 피드백 모듈이, 3), 4)는 RFC모듈이 담당하는데, 피드백 모듈이 담당할 역할은 3.2에서, 그리고 RFC모듈이 담당할 역할은 3.3에서 자세히 다루었다.

### 3.2 피드백 모듈의 작동 알고리즘

피드백-RFC 모델은 '피드백'이라는 용어를 다음과 같이 정의한다.

피드백 : 장치에 설정된 기준과 사용자의 실제 운동능력 사이의 격차를 줄이기 위해 사용자의 운동능력에 비례하는 값만큼 2~4단계의 기준값을 상향 조정해주는 것.

피드백의 적용대상이 1단계를 제외한 2, 3, 4단계인 이유는 다음과 같다. 2, 3, 4단계는 사용자의 운동 능력에 비례하여 높아져야한다. 하지만 1단계와 그 아래의 5단계를 나누는 기준값은 사람의 최저 심박수를 나타내는 것이다. 1단계의 기준을 상향조정하지 않는 것은 운동선수들의 평소 심박수가 일반인의 심박수보다 낮은 것에서 알 수 있듯이 운동 능력과 최소 심박수는 비례하지 않는다. 따라서 운동능력에 비례하여 심박수 단계 기준값을 상향시켜 주는 피드백을 최소 심박수의 시준이 되는 1단계에 적용시키는 것은 적절하지 않다.

4단계를 사람이 무리한 운동을 하여 힘들다고 느끼는 단계라고 정의하였으므로, 4단계에서 운동한 시간이 길수록 운동능력이 탁월하다고 볼 수 있다. 따라서 우리는 운동능력을 측정하는 척도를 4단계에서 운동한 최장 시간으로 정의하고  $T_{L4}$ 라고 부르기로 하였다. 피드백 모듈은 입력한 데이터로부터 알아낸  $T_{L4}$ 의 크기에 따라 데이터베이스에 저장되어 있는 사용자의 기준 심박수 단계 기준값에 피드백을 적용한다. 피드백의 크기는 Equation (6)과 같은 계단식 함수로 정의하였다.

$$\begin{cases} [T_{L4}/2] & (T_{L4} \leq 10, [x] \text{는 } x \text{보다 작은 최대의 정수}) \\ 5 & (T_{L4} > 10) \end{cases} \quad (6)$$

Equation (6)은  $T_{L4}$ 가 0일 때 함수값인 피드백이 0에서 시작한다. 그리고  $T_{L4}$ 가 2 증가할 때마다 1씩 상승하고,  $T_{L4}$ 가 10이 되어 함수 값이 5가 된 이후로는 일정하게 유지된다. Fig. 3은 Equation (6)에 대한 이해를 쉽게 하기 위해 그래프로 나타낸 것으로,  $T_{L4}$ 가 2증가 할 때마다 계단식으로 1상승하다가  $T_{L4}$ 가 10이 된 이후로는 5로 일정하게 유지되는 모습을 확인할 수 있다.

데이터베이스에 저장되어있는 사용자의 기준 심박수 단계 기준값에 피드백이 적용되고 난 뒤 이를 이용해 입력받은 심

박수 데이터를 라벨링하여 RFC모듈에서 사용할 훈련 데이터를 생성하여 이를 RFC 모듈에 전달한다. Fig. 4는 피드백 모듈이 작동하는 방식을 정리하기 위해 그린 흐름도이다.

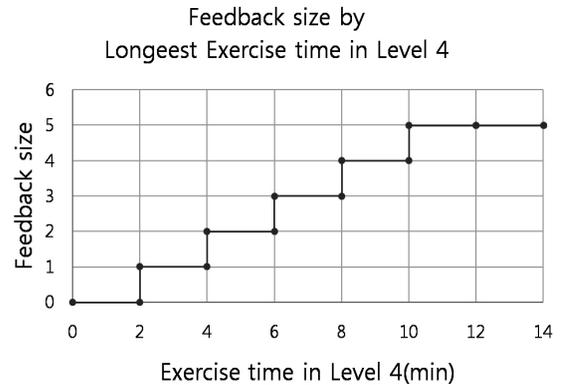


Fig. 3. The Feedback Values, Increasing According to Longest Exercise Time in Level 4

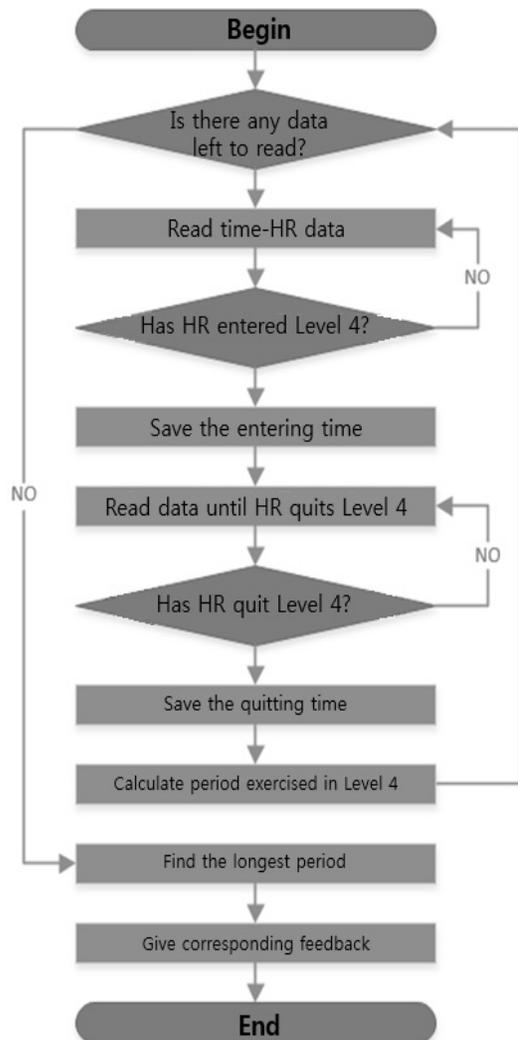


Fig. 4. The Flowchart for the Feedback Module

```

Feedback module.pseudo
1 feedbackModule(input_data_file)
2 // Read data from input file
3 input_data = read(input_data_file)
4
5 // parse timestamp and heartrate data
6 timestamps, heartrates = parse(input_data)
7 len = timestamps.length()
8
9 // Get current heartrate level boundary values
10 hr_levels[5] = hrlvDB.getData()
11
12 // Initialize variables
13 lv4_intervals = []
14 lv4_begin = 0
15 lv4_end = 0
16
17 // Extract exercise periods in level 4 from parsed data
18 for(i = 1; i < len; i++)
19     if level(heartrates[i])>=4 and level(heartrates[i-1])<4
20         lv4_begin = timestamps[i]
21     if lv4_begin>0 and level(heartrates[i])<4 and level(heartrates[i-1])>=4
22         lv4_end = timestamps[i]
23         lv4_intervals.append(lv4_end-lv4_begin)
24         lv4_begin = 0
25         lv4_end = 0
26
27 // Find longest period
28 lv4_longest = max(lv4_intervals)
29 feedback = min(int(lv4_longest/60/2), 5)
30
31 // Give corresponding feedback to 2~4Lv
32 hr_levels[1] += feedback
33 hr_levels[2] += feedback
34 hr_levels[3] += feedback
35
36 // Label input data
37 train_data = label(heartrates, hr_levels)
38
39 // Return trained data
40 return train_data
    
```

Fig. 5. The Pseudo-code of the Feedback Module

Fig. 4에서 흐름도로 정리한 피드백 모듈의 작동 방식은 다음과 같다. 사용자의 운동 데이터셋이 모듈에 입력되면 모듈은 시간순서대로 심박수 데이터를 확인한다. 3단계에서 4단계로 올라가는 시각과 4단계에서 3단계로 내려오는 시각의 시간차 즉 4단계에서 운동한 시간을 계산해 저장한다. 마지막 데이터까지 이 과정을 반복하고 난 뒤 4단계에서 운동한 시간 중 최대값을 구해  $T_{L4}$ 로 정의한다.  $T_{L4}$ 에 대응되는 크기만큼의 피드백을 준다.

Fig. 5는 Fig. 4의 흐름도를 토대로 피드백 모듈을 의사코드로 구현한 것이다. 본 알고리즘은 입력데이터에서 시각, 심박수 수치를 파싱하는 작업과, 파싱한 시각, 심박수를 스캔하여 4단계에서 운동한 시간을 계산하는 작업, 그리고 입력 데이터의 크기와 관계없는 기타 작업으로 이루어져있다. 입력데이터로부터 시각, 심박수 수치를 파싱하는 작업의 시간복잡도는  $O(n)$ 이고, 파싱한 시각, 심박수 수치값을 쭉 스캔하는 작업의 시간복잡도는  $O(n)$ 이다. 나머지 작업의 시간복잡도는  $O(1)$ 이므로 전체적인 시간복잡도는  $O(n)$ 이다.

### 3.3 RFC 모듈의 작동 알고리즘

RFC 모듈은 피드백 모듈로부터 받은 데이터로 RFC를

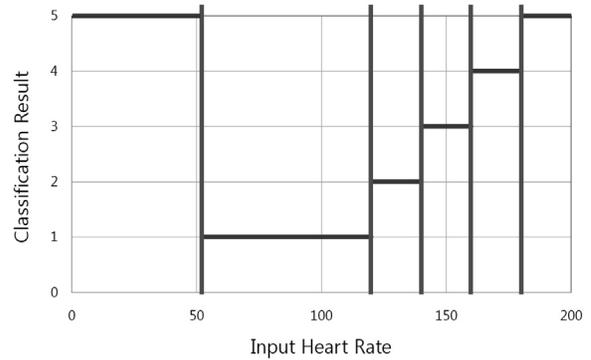


Fig. 6. A Diagram Showing a Way of Reestablishing the Individual Heartbeat Standard

학습시킨다. 이 RFC에 심박수 데이터를 입력하면 1~5단계 중 하나로 분류하는데, 매우 작은 심박수를 입력하면 이를 낮은 5단계(5\_L)로 분류할 것이다. 그리고 입력 심박수 데이터의 크기를 점점 증가시키면 분류결과가 반복해서 5단계로 나오다가 어느 시점부터 1단계가 될 것이고, 그 뒤로도 계속 증가시키면 분류 결과가 높은 5단계(5\_H)가 될 때까지 한 단계가 반복되다가 어떤 지점부터 그 다음 단계로 넘어가는 것을 반복할 것이다. 따라서 1에서 200까지의 심박수를 RFC에 입력하면 Fig. 6과 같은 계단 형태의 분류 결과가 나올 것이다. 이 결과를 살펴보면 한 단계에서 그 다음 단계로 바뀌는 지점이 총 5개 존재하며 이는 Fig. 6에서 붉은 선으로 표시되어있다. 이 지점들에 대응되는 심박수가 곧 새로운 심박수 단계 기준값이다. RFC 모듈은 이 새로운 심박수 단계 기준값을 데이터베이스에 저장하고 동시에 사용자에게 전송한다.

```

RFC module.pseudo
1 rfcModule(train_data)
2 // Initialize RFC
3 rfc = new rfc()
4 rfc.init(parameters)
5
6 // Train RFC with input data
7 rfc.train(train_data)
8
9 // Test HR of 1~200 with trained RFC
10 test_results = []
11 for(i=1; i<=200; i++)
12     test_results.append(rfc.test(i))
13
14 // Find boundaries where results change
15 new_hr_levels = []
16 for(i=1; i<200; i++)
17     if test_results[i] > test_results[i-1]
18         new_hr_levels.append(i)
19
20 // Update DB and pass new boundaries to user
21 hrlvDB.update(new_hr_levels)
22 return new_hr_levels
    
```

Fig. 7. The pseudo-code of the RFC module

Fig. 7은 RFC모듈을 의사코드로 구현한 것이다. 해당 알고리즘은 RFC를 훈련시키는 부분, 훈련된 RFC로 1에서 200까지의 심박수를 분류하는 부분, 각 심박수 단계의 기준값을 찾는 부분, 그리고 심박수 단계 DB를 업데이트 하는 부분으로 나뉜다. 첫 번째 부분은  $n$ 개의 데이터로부터  $N$ 개의 트리를 만드는 것이므로 시간 복잡도는  $O(Nn \log n)$ 이다. 두 번째 부분은 높이가  $\log n$ 인 트리를 횡단하는 것이므로 시간복잡도는  $O(\log n)$ 이다. 세 번째와 네 번째 부분은 데이터의 크기와 관계없이 정해진 작업을 수행하는 것이므로 시간복잡도는  $O(1)$ 이다. 따라서 본 알고리즘의 전체 시간복잡도는  $O(Nn \log n)$ 가 된다.

#### 4. 실험 설계

본 절에서는 피드백-RFC 모델을 평가하기 위한 연구질문과 모델을 평가하기 위해 행한 실험에 대해 다룬다.

##### 4.1 연구 질문

피드백-RFC 모델을 평가하기 위한 질문은 다음과 같다.

연구 질문 : 피드백-RFC 모델이 심박수 단계 기준값을 실험 참가자의 신체조건에 알맞은 방향으로 개인화 시키는가?

심박수 단계 기준값이 개인화 된다는 것은 초기에 모든 사용자의 장치가 같은 심박수 단계 기준값을 가지고 있던 것이 모델이 적용됨으로 인해 개개인의 신체능력에 적합한 수치로 바뀌는 것을 의미하며, 모델 적용 후 '사용자가 체감하는 운동 강도 및 이에 대응되는 심박수'와 '사용자가 착용하고 있는 스마트 피트니스 장치에 설정되어있는 심박수 단계 기준값' 사이의 차이가 작을수록 개인화가 잘 되었다고 할 수 있다. 우리는 이 차이를 정량적으로 측정하기 위해 Gap이라는 수치를 Equation (7)과 같이 정의하였다.

$$Gap = Avg(HR_{exercise}) - HR_{Lv3} \quad (7)$$

Equation (8)에서  $HR_{exercise}$ 란 사용자의 운동 심박수를,  $HR_{Lv3}$ 은 다섯 단계의 심박수 단계 중 3단계의 기준값을 의미한다. 운동 심박수란, 사용자가 운동을 하고 있을 때의 심박수를 의미하며, 심박수 단계의 정의에 의하면 3단계와 4단계에 속한 심박수를 의미한다.

앞에서 정의한 바에 따르면 Gap 수치가 작을수록 심박수 단계 기준값이 사용자에게 더 적합하다고 평가할 수 있으며, 피드백-RFC 모델 적용 횟수가 증가할수록 이 수치가 감소하면 피드백-RFC 모델이 심박수 단계 기준값을 사용자에게 적합한 방향으로 개인화 되었다고 평가할 수 있다. 본 연구에서 행한 실험에서는 모델을 총 10번 적용하였으며, Gap 수치의 최종 감소율을 Equation (8)과 같이 정의하였다.

$$감소율 = 1 - \frac{Gap_{10th}}{Gap_{1st}} \quad (8)$$

$Gap_{1st}$ 은 1회차에서 수집한 데이터로부터 계산한 Gap수치를,  $Gap_{10th}$ 은 10회차의 데이터로부터 계산한 Gap수치를 의미한다.

##### 4.2 실험 참가자

다양한 신체조건을 가진 사용자들로부터 데이터를 얻기 위해 12명의 실험 참가자로부터 운동 데이터를 수집하였다. 12명 중 6명은 석사과정과 박사과정을 밟고 있는 20대 중후반의 대학원생이고, 나머지 6명은 ETRI에서 근무하는 30대 또는 40대의 연구원들이다. 각 참가자의 정보는 Table 1과 같다. 참가자들의 연령대는 20대 중반에서 40대 중반까지 고르게 분포하고 있으며, 남녀 성비는 남자 8명, 여자 4명으로 남자 쪽으로 다소 치우친 편이다.

Table 1. The Participant Information

ID	Sex	Age
01	F	45
02	F	40
03	M	46
04	F	40
05	M	30
06	M	32
07	M	28
08	M	27
09	M	27
10	M	28
11	M	25
12	F	40

##### 4.3 실험 방법

실험은 크게 데이터 수집, 데이터 분석 두 과정으로 이루어져 있다. 4.2의 실험참가자들은 Fitbit Inc.의 Fitbit Surge 제품을 이용해 4.4에서 설명한 방법대로 운동 데이터를 측정한다. 여러 종류의 피트니스 장치 중 Fitbit Surge를 선택한 이유는 Fitbit Surge가 초단위의 운동 트래킹 기능을 제공하며, 트래킹한 운동 데이터를 json파일 형식으로 내보낼 수 있어 연구를 위한 데이터 분석에 적합하기 때문이다. Fitbit Surge에서 제공하는 운동 트래킹 기능은 달리기 운동 이외에도 웨이트 트레이닝, 하이킹 등 여러 종류의 운동을 지원하나, 운동종류가 심박수 패턴에 끼치는 변수를 배제하기 위해 실험참가자들은 오직 노면에서 달리는 프리러닝 또는

런닝머신 위에서 달리는 트레드밀 기능만을 이용해 운동 데이터를 측정하도록 하였다. 모든 측정이 끝나고 나면 Fitbit Inc.에서 제공하는 개발자용 API를 이용해 운동데이터를 일괄적으로 수집한다.

데이터 분석은 처리해야할 데이터의 양이 많기 때문에 이를 자동화 해줄 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램은 크게 입력 데이터 처리부, 피드백 모듈부, RFC 모듈부, 그리고 출력데이터 처리부로 이루어져있다. 입력 데이터부는 Fitbit Surge로부터 내보낸 운동데이터가 기록되어 있는 json파일로부터 필요한 시간 및 심박수 정보만을 추출하여 피드백 모듈의 입력데이터로 변환하여 전달해준다. 피드백 모듈과 RFC 모듈은 3절에서 설명한 내용대로 작동하며, 마지막으로 출력 데이터부는 RFC 모듈이 출력한 새로운 심박수 단계 기준값으로 Gap 수치를 계산하고 그 결과와 심박수 단계 기준값의 변화 추이를 기록한다.

#### 4.4 데이터 측정

모든 실험 참가자에게는 심박수를 측정하기 위한 도구로 Fitbit Surge가 지급된다. 타임스탬프, 심박수가 포함된 운동 데이터를 기록하기 위해 Fitbit의 exercise tracking 기능을 사용하는데, 참가자들이 여러 종류의 운동을 함으로써 발생하는 변수를 줄이기 달리기 운동만 하도록 하였다. 운동 데이터를 기록하는 과정은 다음과 같다.

- 1) 참가자는 달리기 운동을 시작하기 1, 2분 전에 운동 트래킹 기능을 활성화 시킨다. 이는 휴식상태에서 위밍업을 거쳐 운동심박수로 도달하는 과정을 기록하기 위한 것이다.
- 2) 30분 이상 달리기 운동을 한다. 주의해야 할 점으로는 일부러 너무 강도로 달려서는 안 되고, 운동 중 최소 한 번은 힘들어서 페이스 유지 못하겠다는 느낌이 들 정도로 높은 강도로 달려야한다.

- 3) 운동이 끝나고 5분정도가 지나 참가자의 호흡이 안정되고 나면 운동 트래킹 기능을 종료한다.
- 4) 1)~3)의 과정을 최소 하루의 시간간격을 두고 10회 반복한다.

위의 과정을 통해 운동데이터를 모두 수집하고 나면 이를 이용해 각 사용자의 심박수 단계 기준 변화의 추이와, 그에 따른 gap수치의 변화를 분석한다.

### 5. 실험 결과

본 절에서는 제4절에서 말한 실험의 결과에 대해 소개한다. 5.1절에서는 운동데이터로부터 Gap수치를 산출하여 피드백-RFC모형을 평가하고 5.2절에서는 각 참가자의 심박수 단계 기준 변화추이를 관찰하여 발견한 것들을 소개한다.

#### 5.1 피드백-RFC 모델의 평가 결과

Table 2는 12명의 실험참가자들이 10회에 걸쳐 기록한 운동 데이터로부터 얻은 Gap 수치와 최종 감소율을 정리한 결과이다. 참가자 1을 예로 들어 표에 대해 설명하자면, 모델을 1회 적용했을 때의 Gap 수치는 7.12이고, 모델의 적용 횟수가 증가함에 따라 점점 감소하다가 적용 횟수가 10이 되는 시점에는 2.59가 되었다. Gap 수치가 점점 감소하는 것으로부터 참가자 1의 심박수 단계 기준은 점점 개인화 되어가는 것을 알 수 있으며, 최종적으로 2.59의 Gap을 기록함으로써 처음에 비해 64% 감소한 것을 알 수 있다.

1회차에서 모든 사용자의 Gap수치들이 낮게는 5, 높게는 14까지 되는 크기를 가졌지만, 회차가 거듭할수록 점점 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 최종적으로 10회차에서는 모든 사용자의 Gap 수치가 4미만의 크기로 줄어들게 되며 감

Table 2. The Gap Value Per Each Exercise, and the Final Reduction Ratio

Attempt ID	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	Reduction Rate
01	7.12	5.95	5.34	4.7	4.01	3.5	3.02	2.59	2.59	2.59	0.64
02	6.12	5.58	4.96	4.35	3.71	3.02	2.5	2.03	2.02	2.02	0.67
03	6.12	5.57	4.96	4.35	3.71	3.02	2.5	2.03	2.02	2.02	0.67
04	7.12	5.95	5.34	4.7	4.01	3.5	3.02	2.59	2.59	2.59	0.64
05	5.58	4.96	4.35	3.71	3.02	2.51	2.03	2.03	2.03	2.03	0.64
06	14.25	12.39	10.56	9.19	8.09	6.92	5.68	4.98	4.47	3.99	0.72
07	7.12	5.95	5.34	4.7	4.01	3.5	3.02	2.59	2.59	2.59	0.64
08	6.12	5.57	4.96	4.35	3.71	3.02	2.5	2.03	2.02	2.02	0.67
09	7.12	5.95	5.35	4.7	4.01	3.5	3.02	2.59	2.59	2.59	0.64
10	7.12	5.95	5.35	4.7	4.01	3.5	3.02	2.59	2.59	2.59	0.64
11	5.58	4.96	4.35	3.71	3.02	2.51	2.03	2.03	2.02	2.03	0.64
12	14.25	12.39	10.56	9.19	8.09	6.92	5.68	4.98	4.47	3.99	0.72

X Axis : The number of times Feedback-RFC model is applied  
 Y Axis : Heart rate

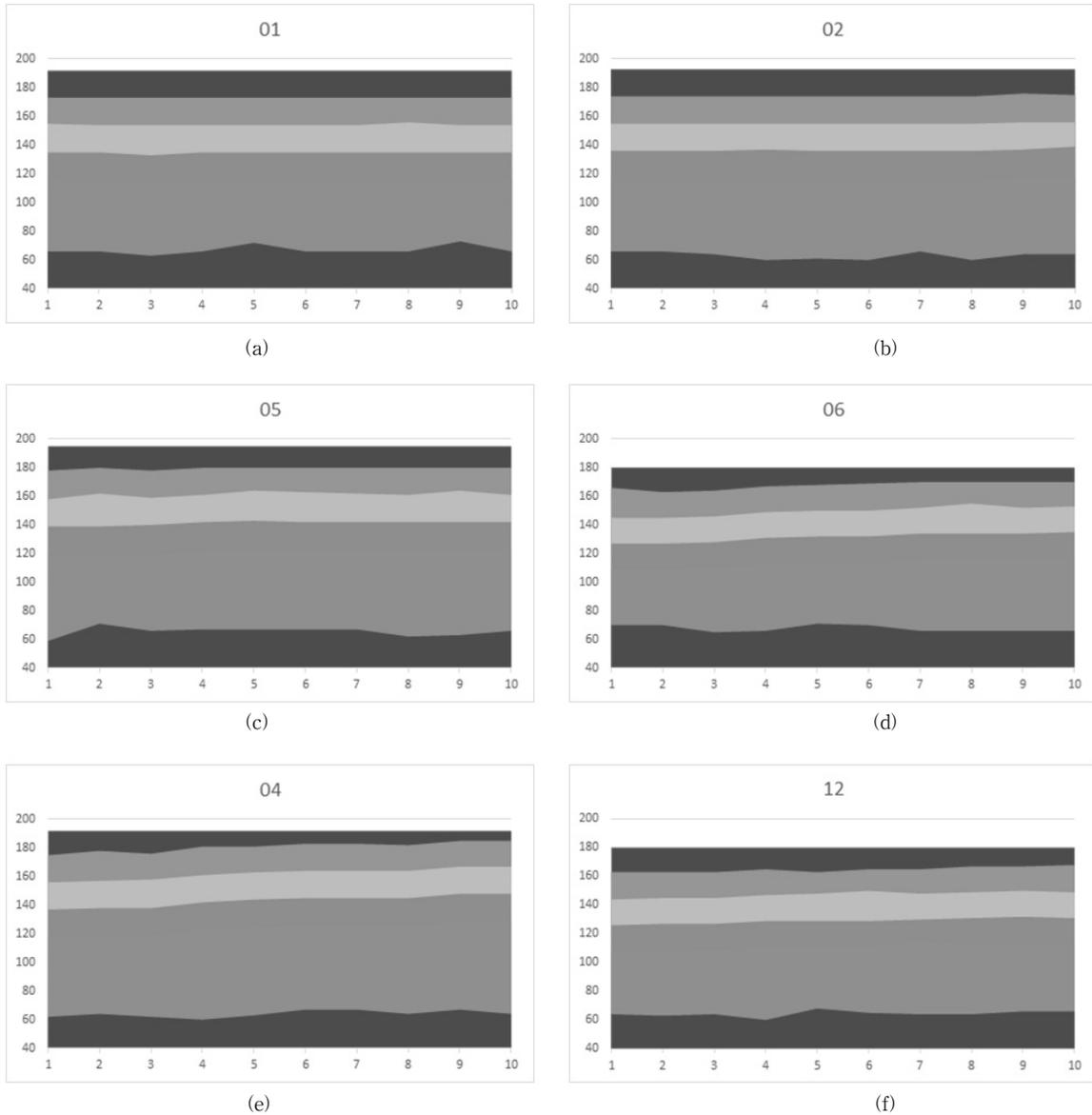


Fig. 8. The Graphs Showing the Five Levels of Heart Beats, Gradually Changing Through Exercises

소율로 나타내면 최소 64퍼센트, 최대 72퍼센트이다. 다양한 조건을 가진 12명의 참가자로부터 데이터를 수집했음에도 불구하고 단 하나의 예외도 없이 12개의 샘플 모두 동일하게 Gap 수치가 감소하는 결과를 보여주었다. 따라서 피드백-RFC모델은 사용자의 실제 운동 능력과, 장치가 판단하는 기준 사이의 차이를 줄여주는 역할을 수행하여 심박수 단계 기준값을 잘 개인화시켰다고 평가할 수 있다. 결과를 위한 샘플 크기를 논문[19]에 따라 계산하였을 때 평균 0.66, 표준편차 0.03인 결과에 대해서는 2-3개의 샘플이 모두 같은 결과를 보이면 통계학적으로 추가 샘플을 수집했을 때에도 같은 결과를 내기 때문에, 더 많은 수의 12개의 샘플로부터 만

들어 모델의 평가 결과는 타당하다.

### 5.2 심박수 단계 기준의 변화 추이 관찰 결과

12명의 실험 참가자들의 심박수 단계 기준 변화 추이를 그래프로 나타낸 결과, 크게 세 가지 유형으로 분류되는 것을 발견하였다. 유형1은 그래프가 큰 변화 없이 평탄한 유형, 유형2는 그래프가 위로 기울다가 다시 평탄해지는 유형, 그리고 유형3은 그래프가 평탄해 지지 않고 계속 증가하는 유형이다. 각 유형에 속하는 참가자들의 심박수 단계 기준 변화 추이는 Fig. 8에 나타나있다. Fig. 8의 각 그래프는 그래프 번호에 해당하는 참가자의 심박수 단계 기준 변화 추이를 나타낸 것으로, 빨

간색은 5단계, 초록색은 1단계, 파란색은 2단계, 노란색은 3단계, 그리고 주황색은 4단계를 의미한다. 각 유형이 의미하는 바를 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 유형 1: 각 단계의 기준값이 처음부터 끝까지 평탄한 그래프

유형1에 속하는 실험참가자의 경우 신체조건과 초기 심박수 단계기준이 거의 일치하여 피드백-RFC모델로부터 큰 영향을 받지 않는 유형이다. 01, 02, 03, 07, 08, 09, 10, 11번 참가자가 유형1에 속한다. 이 유형에 속하는 참가자의 신체 조건은 평균적이기 때문에 장치의 초기설정에서 추가적인 개인화가 필요하지 않다고 볼 수 있다.

2) 유형 2: 각 단계의 기준값이 증가하다가 중간부터 평탄해지는 그래프

유형2에 속하는 실험 참가자의 경우 피드백-RFC 모델에 의해 심박수 기준이 상향조정 되다가 참가자의 운동 능력과 일치하게 되면서 수렴한 유형이다. 05, 06번 참가자가 유형2에 속한다. 이 유형에 속하는 사람은 장치에 설정된 초기 심박수 단계 기준보다 다소 뛰어난 운동능력을 가지고 있어 어느 정도의 개인화가 필요하나, 그 정도가 크지는 않아 적은 모델 적용횟수만으로도 충분히 개인화가 되기 때문에 그 이후로는 심박수 단계 기준이 변화를 보이지 않게 되는 것이다.

3) 유형 3: 각 단계의 기준값이 처음부터 끝까지 계속 증가하는 그래프

유형3에 속하는 실험참가자의 경우엔 피드백-RFC모델이 10회에 걸쳐 심박수 단계 기준을 상향하였음에도 불구하고 완전히 일치하지 않은 유형이다. 04, 12번 참가자가 유형3에 속한다. 이 유형에 속하는 참가자의 운동능력은 참가자가 착용한 장치의 초기설정에 비해 많이 월등하기 때문에 모델이 10번 적용되었음에도 개인화가 충분히 이루어지지 않은 것으로 모델 적용 횟수를 늘려주면 결국은 참가자의 운동 능력과 심박수 기준이 일치하게 되면서 유형2와 비슷한 추이를 보일 것이라 예상할 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문은 심박수 기준이 통계를 기반으로 한 고정된 수가 아니라 사용자로부터 수집한 데이터를 기반으로 하여 사용자 개인별로 적합한 값을 가지는 피드백-RFC 모델을 제안하였다. 그리고 이를 검증하기 위한 방법을 제시하고 그 방법에 따라 실험을 하여 우리가 제안한 모델이 유효하다는 것을 보였다.

본 논문이 제안한 피드백-RFC 모델에 의해 개인화되는

기준은 기존 운동 추천 서비스들이 사용하는 기준들과 형식이 같으므로 피드백-RFC 모델과 해당 서비스들을 연계할 수 있을 것이다. 운동 강도 추천과 같은 서비스를 제공할 때 피드백-RFC 모델에 의해 개인화된 기준을 사용하면 더 높은 신뢰도를 가진 서비스를 제공할 수 있을 것이다.

## References

- [1] S. M. Fox 3rd and W. L. Haskell, "Physical activity and the prevention of coronary heart disease," *Bulletin of the New York Academy of Medicine*, Vol.44, No.8, p.950, 1968.
- [2] H. Tanaka, K. D. Monahan, and D. R. Seals, "Age-predicted maximal heart rate revisited," *Journal of the American College of Cardiology*, Vol.37, No.1, pp.153-156, 2001.
- [3] J. Karvonen and T. Vuorimaa, "Heart rate and exercise intensity during sports activities," *Sports Medicine*, Vol.5, No.5, pp.303-311, 1988.
- [4] J. A. Zoladz, Z. Szkutnik, J. Majerczak, and K. Duda, "Detection of the change point in oxygen uptake during an incremental exercise test using recursive residuals: relationship to the plasma lactate accumulation and blood acid base balance," *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, Vol.78, No.4, pp.369-377, 1998.
- [5] H.-T. Chang, "A Fitness Assessment Recommendation System Using Cloud Services," *International Journal of Advancements in Computing Technology*, Vol.5, 2013.
- [6] R. A. Palomares, J. R. Ramos, A. M. Cortes, J. A. N. Martinez, and J. L. V. Gonzalez, "The Intelligent Personal Trainer," in *Electronics, Communications and Computers, 2006. CONIELECOMP 2006. 16th International Conference on*, 2006.
- [7] H.-H. Hsu, N. Y. Yen, T.-W. Pai, and M.-H. Chang, "Personal Health Management on a Smartphone Platform," *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, Vol.26, No.4, p.1440004, 2014.
- [8] J.-E. Lim, O. Choi, C.-S. Na, and D.-K. Baik, "A context-aware fitness guide system for exercise optimization in U-health," *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, Vol.13, No.3, pp.370-379, 2009.
- [9] T. C. T. Ho and X. Chen, "ExerTrek: a portable handheld exercise monitoring, tracking and recommendation system," in *e-Health Networking, Applications and Services, 2009. Healthcom 2009. 11th International Conference on*, pp.84-88, 2009.

[10] G. Spina, G. Huang, A. Vaes, M. Spruit, and O. Amft, "COPDTrainer: a smartphone-based motion rehabilitation training system with real-time acoustic feedback," in *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp.597-606, 2013.

[11] I. Pernek, K. A. Hummel, and P. Kokol, "Exercise repetition detection for resistance training based on smartphones," *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol.17, Issue 4, pp.771-782, 2013.

[12] L. Breiman, "Random forests," *Machine Learning*, Vol.45, Issue 1, pp.5-32, 2001.

[13] K. K. Kandaswamy, K.-C. Chou, T. Martinetz, S. Moller, P. Suganthan, S. Sridharan, et al., "AFP-Pred: A random forest approach for predicting antifreeze proteins from sequence-derived properties," *Journal of Theoretical Biology*, Vol.270, No.1, pp.56-62, 2011.

[14] M. Khalilia, S. Chakraborty, and M. Popescu, "Predicting disease risks from highly imbalanced data using random forest," *BMC Medical Informatics and Decision Making*, Vol.11, No.1, p.51, 2011.

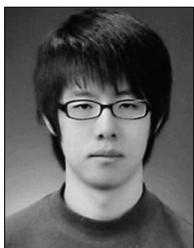
[15] P. O. Gislason, J. A. Benediktsson, and J. R. Sveinsson, "Random forests for land cover classification," *Pattern Recognition Letters*, Vol.27, No.4, pp.294-300, 2006.

[16] V. F. Rodriguez-Galiano, B. Ghimire, J. Rogan, M. Chica-Olmo, and J. P. Rigol-Sanchez, "An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.67, pp.93-104, 2012.

[17] M. Pal, "Random forest classifier for remote sensing classification," *International Journal of Remote Sensing*, Vol.26, No.1, pp.217-222, 2005.

[18] R. Diaz-Uriarte and S. A. De Andres, "Gene selection and classification of microarray data using random forest," *BMC bioinformatics*, Vol.7, No.1, p.3, 2006.

[19] S. Smith, "Determining sample size: How to ensure you get the correct sample size," *E-Book (c) Qualtrics Online Sample*, 2013.



**김 태 현**

e-mail : memo\_less@kaist.ac.kr  
 2015년 KAIST 물리학, 전기전자공학(학사)  
 2015년~현 재 KAIST 전산학 석사과정  
 관심분야 : 소프트웨어 아키텍처



**정 필 수**

e-mail : psjung@kaist.ac.kr  
 2012년 충남대학교 컴퓨터공학(학사)  
 2014년 KAIST 전산학(석사)  
 2014년~현 재 KAIST 전산학 박사과정  
 관심분야 : 소프트웨어 제품라인, 소프트웨어 시험, 소프트웨어 진화



**이 선 아**

e-mail : saleese@gnu.ac.kr  
 1997년 이화여자대학교 전산학(학사)  
 1999년 이화여자대학교 전산학(석사)  
 2005년 카네기멜론대학교 소프트웨어공학(석사)  
 2013년 KAIST 전산학(박사)  
 1999년~2006년 삼성전자 선임/책임연구원  
 2013년~2015년 KAIST 연구 조교수  
 2016년~현 재 경상대학교 항공우주 및 소프트웨어공학전공 조교수  
 관심분야 : 소프트웨어 아키텍처, 소프트웨어 리퍼지터리 마이닝, 추천 시스템, 소프트웨어 진화



**정 기 숙**

e-mail : kschung@etri.re.kr  
 1995년 포항공과대학교 컴퓨터공학과(학사)  
 1997년 KAIST 전산학(석사)  
 1997년~2001년 테이콤 종합연구소  
 2001년~현 재 한국전자통신연구원 책임연구원  
 관심분야 : 5G 서비스 구조, 소프트웨어 아키텍처, 서비스플랫폼



**김 창 섭**

e-mail : cskeum@etri.re.kr  
 1992년 서울시립대학교 전산통계학(학사)  
 2005년 카네기멜론대학교 소프트웨어공학(석사)  
 2013년 한국과학기술원(공학박사)  
 1994년~현 재 한국전자통신연구원 신뢰통신서비스플랫폼 연구실 실장  
 관심분야 : 5G 모바일 엣지 클라우드, 서비스플랫폼, 소프트웨어 아키텍처



### 강성원

e-mail : sungwon.kang@kaist.ac.kr

1982년 서울대학교 사회과학대학(학사)

1989년 Univ. of Iowa 전산학(석사)

1992년 Univ. of Iowa 전산학(박사)

1993년~2001년 한국통신 연구개발본부

신입연구원

1995년~1996년 미국국립표준기술연구소(NIST) 객원연구원

2001년~2005년 한국정보통신대학교 조교수

2005년~2009년 한국정보통신대학교 부교수

2009년~현 재 KAIST 전산학부 부교수

관심분야: 소프트웨어 아키텍처, 소프트웨어 제품라인,

소프트웨어 시험