

# 인공지능을 활용한 다중 생체신호 분석 기반 스마트 감정 관리 시스템

## Smart Emotion Management System based on multi-biosignal Analysis using Artificial Intelligence

노아영\*, 김영준\*, 김형수\*, 김원태\*

Ayoung Noh\*, Youngjoon Kim\*, Hyeong-Su Kim\*, Won-Tae Kim\*

### Abstract

In the modern society, psychological diseases and impulsive crimes due to stress are occurring. In order to reduce the stress, the existing treatment methods consisted of continuous visit counseling to determine the psychological state and prescribe medication or psychotherapy. Although this face-to-face counseling method is effective, it takes much time to determine the state of the patient, and there is a problem of treatment efficiency that is difficult to be continuously managed depending on the individual situation. In this paper, we propose an artificial intelligence emotion management system that emotions of user monitor in real time and induced to a table state. The system measures multiple bio-signals based on the PPG and the GSR sensors, preprocesses the data into appropriate data types, and classifies four typical emotional states such as pleasure, relax, sadness, and horror through the SVM algorithm. We verify that the emotion of the user is guided to a stable state by providing a real-time emotion management service when the classification result is judged to be a negative state such as sadness or fear through experiments.

### 요약

현대사회에서 스트레스로 인한 심리적 질병과 충동적 범죄들이 발생하고 있다. 스트레스를 줄이기 위한 기존 치료 방법은 지속적인 방문 상담을 통해 심리상태를 파악하고, 약물치료나 심리치료로 처방하였다. 이러한 대면 상담 치료 방법은 효과적이지만, 환자의 상태 판단에 많은 시간이 소요되며, 개인의 상황에 따라서 지속적인 관리가 어려운 치료 효율성의 문제가 있다. 본 논문에서 시청각적 스트레스에 의해 유발된 감정 상태를 실시간으로 분류하고, 사용자의 감정을 안정적인 상태로 유도하는 인공지능 감정 관리 시스템을 제안한다. 본 시스템은 PPG와 GSR를 이용하여 다중 생체신호를 측정하고, 적합한 데이터 형태로 변환하는 전처리 과정을 거쳐 SVM 알고리즘을 통해 기쁨, 진정, 슬픔, 두려움 등 대표적인 4가지의 감정 상태를 분류한다. 분류결과가 슬픔이나 두려움과 같은 부정적 상태로 판단되면, 실시간 감정관리 서비스를 제공하여 사용자의 감정이 안정적인 상태로 유도됨을 실험을 통해 검증한다.

*Key words : Multi-Biosignals, SVM, Biosignal Preprocessing, Emotion Classification, Emotion management*

\* Dept. of Computer Science and Engineering, Koreatech University

★ Corresponding author

E-mail:wtkim@koreatech.ac.kr, Tel:+82-41-560-1485

※ Acknowledgment

This paper was partially supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant (No. 2017010875) from the Korea government (MSIT).

Manuscript received, Nov,18, 2017; revised, Dec, 7, 2017 ; accepted, Dec, 8, 2017

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서론

현대사회에서 많은 사람들이 스트레스로 고통 받고 있다. 이 스트레스를 해소하지 못하고 자신을 통제하지 못하는 사람들이 기하급수적으로 증가하고 있다. 결과적으로 충동적 범죄와 우울증, 자살충동과 같은 심리 장애 역시 함께 증가하게 되었다 [1]. 심각한 정신적 심리적 문제를 가진 환자를 치료하기 위해서는 전문적인 심리 상담과 적절한 의료 처방이 필요하다. 즉, 상당한 기간 동안의 지속적인 상담을 통해 판단한 뒤 의료인의 약물처방이나 심리 치료로 진행된다. 이러한 의료 행위에는 많은 시간과 비용이 요구되며, 환자의 상황에 따라서는 지속적으로 치료받을 수 있는데 한계가 있을 수도 있다 [2]. 또한, 대부분의 경우 심각한 상태에 이르기 전에 앞서 간단한 헬스케어 수준에서 관리될 경우 보다 효과적이고 효율적인 치료가 가능하다 [3]. 이러한 이유로 많은 스트레스와 심리장애를 가지고 있는 사람들의 즉각적이며, 지속적인 관리를 위한 방법으로 기존의 전통적인 의료행위의 보조적 수단으로서 사용자 스스로 자동화된 시스템을 통해 지속적 관찰 및 판단하고 감정 상태를 관리할 수 있는 수단이 필요하다.

인간은 감정을 표출 시 전기적 생체신호들(Electrical bio-signals)을 발생하면서 신체적 변화가 발생하는 기계적·전기적 메카니즘을 갖는다 [4]. 이 신체적 변화를 이용한 감정 관리 시스템은 사람의 감정인 ‘기쁨, 슬픔, 두려움’ 등을 신체에서 발생하는 물리적 변화를 센서로 측정하고, 측정데이터들을 종합적으로 분석하여 감정을 분류할 수 있다. 그 후 부정적인 감정을 과도하게 표출하거나 지속적으로 유지하면 신체의 악영향을 미치는 변화가 나타난다. 이 변화를 막기 위해 감정관리를 이용하여 신체의 긍정적인 영향을 끼치는 결과로 전환하는 것이 감정 관리 시스템이다 [5].

본 논문에서는 피부 표면의 전기 전도율을 측정하는 GSR(Galvanic Skin Response) 센서와 심장 맥박수를 측정하는 PPG(Photoplethysmogram) 센서 데이터를 이용하여, 기쁨, 평온, 슬픔, 두려움 감정을 SVM(Support Vector Machine)을 이용하여 분류한다. 그 결과를 사용자에게 현재 감정 상태를 알리고, 조명 테라피(Lighting therapy)와 아로마 테라피(Aroma therapy)를 통해 시각과

후각의 자극을 주어 신체에 긍정적인 변화를 끼치도록 하는 스마트 감정 관리 시스템을 제안한다.

본 논문은 2장에서 기존 감정 분류 기술들에 대한 개략적인 분석을 제시하고, 3장에서는 제안하는 스마트 감정 관리 시스템의 전체 구성도와 각 구성 요소에 대한 상세기술을 소개하고, 4장에서는 감정 데이터를 수집하고 분류 및 감정 제어를 수행한 전과정의 실험 및 분석을 제시하고, 마지막으로 본 논문의 결론을 맺음으로 구성된다.

## II. 관련 연구

기존의 감정 관리 시스템에서 중요한 기술은 감정을 분류하는 방법과 감정을 조절하는 메카니즘이다. 감정을 분류하는 방법은 단일 생체센서를 이용하거나, 다중 생체센서를 이용하여 인공지능 분류 알고리즘으로 감정을 분류하는 방법으로 분류할 수 있다.

단일 생체센서를 이용하여 감정을 분류하는 방법으로, *Kim*은 PPG의 신호의 특징인 PA(Pulse Amplitude)와 PPL(Pulse-to-Pulse Interval)의 2가지 특징 데이터를 SVM 알고리즘으로 각성과 진정의 감정을 분류하는 것을 제안하였다. 이 알고리즘의 정확도는 74%로 진정과 각성을 분류하였다 [6]. *Kurniawan*은 GSR를 이용하여 작업량에 대한 스트레스를 측정하였으며, 여러 가지 인공지능 분류기를 통해 휴식, 적당한 작업량, 과한 작업량을 분류하였으며, GSR 뿐만 아니라 Speech 데이터를 융합하여 감정을 분류하는 방안을 제안하였으며, 작업량의 스트레스에 대해 약 70% 정확도로 분류하였다 [7].

다중 생체 센서를 활용한 방법으로, *Kang*은 PPG 뿐만 아니라 음성과 체온 데이터를 이용하여 인간의 기쁨, 슬픔, 화남, 정상상태를 SVM 알고리즘을 통해 정확도를 74%로 분류하였으며, 슬픔과 화남을 아로마 테라피로 감정을 제어하는 시스템을 제안하였다 [8]. *Lee*은 다중 센서를 통해 뇌전도, 맥파, 피부전도도, 피부 온도의 데이터를 받아드리고, 제안하는 인공지능 분류 알고리즘 DBN(Deep Belief Network)으로 구분하였으며, 정확도가 90%로 나타났다 [9].

### III. 제안하는 스마트 감정 관리 시스템

#### 3.1 전체 시스템 구성도

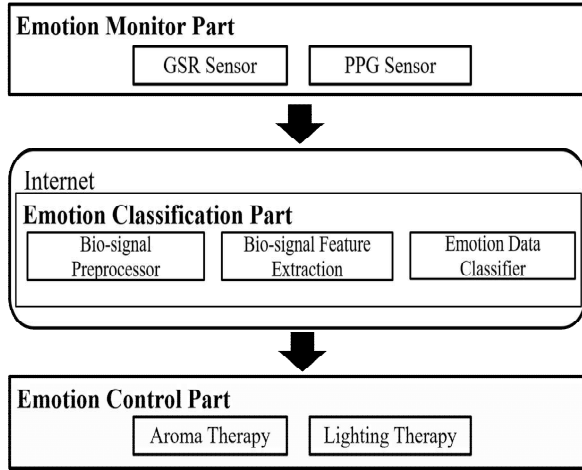


Fig. 1. The whole architecture of the proposed smart emotion management system

그림 1. 제안하는 스마트 감정 관리 시스템 전체 아키텍처

그림 1에 본 논문에서 제안하는 스마트 감정 관리 시스템의 전체적인 구조를 도시한다.

감정 측정부(Emotion Monitoring Part)는 현재의 감정에 의한 신체의 변화 측정을 담당한다. 감정 측정 센서는 피부 전기 전도도를 측정하는 GSR과 혈류량을 통해 맥박을 측정하는 PPG 센서이다. 이 센서를 이용하여 생체신호를 측정하고, 측정된 데이터는 감정 분류부로 전달한다.

감정 분류부(Emotion Classification Part)는 전처리 과정을 통해 센서의 오류 데이터를 정제하고, SVM으로 해당하는 감정을 분류한다. 그 후, 감정 제어부로 분류한 감정 데이터를 보낸다.

감정 제어부(Emotion Control Part)는 현재 측정된 센서 데이터와 분류된 감정 상태를 관찰하고, 분류된 감정의 결과에 따른 감정 관리 서비스를 제공한다. 본 논문에서는 두려움과 슬픔을 안정화하기 위해, 시각적·후각적으로 관리해 주는 조명 테라피와 아로마 테라피를 제공한다.

#### 3.2 감정 측정부

감정 측정부는 그림 2와 같이 Arduino와 PPG 센서, GSR 센서가 연결된 형태로 이루어져 있다. 이 센서들은 감정 파라미터 데이터의 측정을 담당한다.

#### 가. GSR 센서

GSR 센서는 피부의 습기나 땀 등의 수분지수를 측정하여 피부 전기 전도도(Siemens)를 계산하는 센서이다. 생체 피부에서 외적인 자극이나 정서적인 흥분에 의해 그 전기 저항 일시적으로 감소하거나 활동전위가 변화하는 현상을 측정한다. 주로 감정과 정서 관련 문제 연구에 사용한다.

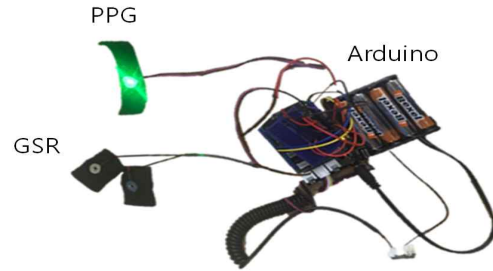


Fig. 2. Structure of Emotion Measurement Unit

그림 2. 감정 측정부의 구성도

#### 나. PPG 센서

PPG 센서는 손가락이나 귀에 부착하여 심장박동수를 측정하는 센서이다. 녹색광 LED가 피부에 전달되어 일부는 흡수되고, 나머지 빛은 반사되어 내장된 포토다이오드에서 검출한다. 이 센서는 심장 박동 수(Beats Per Minute)로 측정한다. 웨어러블 디바이스의 맥박 측정에 유용하다.

#### 3.3 감정 분류부

감정 분류부는 감정 측정부에서 측정된 데이터를 전달받고, 센서의 전처리를 담당하는 생체신호 처리기(Bio-signal Preprocessor), 감정 분류에 적합한 데이터 포맷의 변환과 특징 데이터의 추출의 역할을 하는 생체신호 특징 데이터 추출(Bio-signal Feature Extraction) 그리고 데이터 분류과정을 거쳐서 감정을 분류한 뒤 변수화하고, 감정을 관리해 주는 감정 제어부로 전송하도록 하는 감정 데이터 분류기(Emotion Data Classifier)가 있다.

#### 가. 생체신호 처리기

생체신호 처리기는 측정 데이터 중 노이즈를 제거하는 전처리 모듈로, 이상 측정 데이터나 사람의 신체에서 측정 불가능한 데이터를 정제하는 과정을 수행한다. 감정 측정부에서 GSR과 PPG 데이터를 30개의 데이터 셋을 받아와서 이상 데이터를 처리하는 그림 3의 알고리즘을 이용하여 변환한다. 그림 3은 주변 데이터의 차이가 큰 데이터를 gsrOutval과 ppgOutval에 저장하고, 저장

한 데이터의 입력된 위치에 데이터들을 대체한다. 대체할 데이터는 이상 데이터의 위치를 기준으로 전과 후 데이터의 평균으로 계산한다.

---

**Algorithm 1.** Bio-signal Preprocessor
 

---

```

Input :
  GSRdata : GSR Data Array
  PPGdata : PPG Data Array
Output :
  Refined_data : preprocessing GSR and PPG Data Array
Algorithm :
  error_control ( GSRdata, PPGdata )
  {
    gsrOutval = near_variation_maxindex(GSRdata);
    ppgOutval = near_variation_maxindex(PPGdata);
    GSRdata[gsrOutval] =
      (GSRdata[gsrOutval-1]+GSRdata[gsrOutval+1])/2;
    PPGdata[ppgOutval] =
      (PPGdata[ppgOutval-1]+PPGdata[ppgOutval+1])/2;
    Refined_data = ( GSRdata, PPGdata )
    return(Refined_data)
  }
  
```

---

Fig. 3. The pseudo code for bio-signal preprocessor  
 그림 3. 생체신호 전처리 수도코드

#### 나. 생체신호 특징 데이터 추출

생체신호 특징 데이터 추출은 GSR, PPG 데이터의 각 평균과 변화량을 특징 데이터로 얻어내는 과정이다. 그림 4는 특징 데이터를 추출하는 알고리즘이다. GSR과 PPG의 평균을 계산하고, 각각의 변화량을 추출한다. 이 과정을 통해 센서들의 평균과 변화량을 특징 데이터로 설정한다. 그 후, SVM 알고리즘의 학습에 적합하도록 시간에 따른 특징 데이터 추출과정에서 얻어진 네 가지 변수 데이터와 함께 데이터 포맷을 변경한다.

---

**Algorithm 2.** Bio-signal Feature Extraction
 

---

```

Input :
  GSRdata : GSR Data Array
  PPGdata : PPG Data Array
Output :
  feature : Data of gsrMean, ppgMean, gsrCV, ppgCV
Algorithm :
  feature_extraction( GSRdata, PPGdata )
  {
    gsrMean = mean(GSRdata);
    ppgMean = mean(PPGdata);
    gsrCV = sum(abs(GSRdata-gsrMean));
    ppgCV = sum(abs(PPGdata-ppgMean));
    feature = data.frame(gsrMean, ppgMean, gsrCV, ppgCV);
    return(feature);
  }
  
```

---

Fig. 4. The pseudo code for bio-signal feature extraction  
 그림 4. 특징 데이터 추출 의사코드

#### 다. 감정 데이터 분류기

감정 데이터 분류기는 특징 데이터 셋을 SVM 알고리즘으로 학습 후, 그 결과를 기반으로 새로운 생체신호 데이터를 입력할 때 적절한 감정 상태로

분류하는 과정이다. 그림 5는 SVM으로 데이터를 감정 분류하기 전에 설정하는 알고리즘이다. kernel는 “rbfdot”로 설정하고, 300개 이상의 데이터를 학습하였다. data\_predictions은 Relax는 평온, Pleasure는 기쁨, Sad는 슬픔, Horror는 공포로 변수화 하였다. 변수화의 기준은 센서의 데이터 셋 값이 차이에 정해진다. 센서의 데이터 셋 값이 차이가 작은 것이 평온과 기쁨이 되며, 반대로는 슬픔과 공포로 정해지게 된다. 나머지 긍정적인 감정끼리와 부정적인 감정들은 센서 값들의 미세한 차이의 기준에 따라 변수가 결정된다. 그 후, 데이터는 감정 제어부로 전송하여, 서비스를 제공한다.

---

**Algorithm 3.** Emotion Data Classifier
 

---

```

Input :
  Train_data : Training Data Array
  Test_data : Test Data Array
Output :
  Data_predictions : Classified Emotion Value
Algorithm :
  data_classification( Train_data, Test_data )
  {
    data_classifier = ksvm(situation, Train_data, kernel =
      "rbfdot",
      C = 0.1);
    data_predictions = predict(data_classifier, test_data);
    return(data_predictions);
  }
  
```

---

Fig. 5. The pseudo code for emotion classification  
 그림 5. 감정 데이터 분류를 위한 의사코드

### 3.4 감정 제어부

감정 제어부는 분류된 감정 상태를 기반으로 사용자에게 제공할 감정 관리 서비스를 결정 및 제공한다.



Fig. 6. Actuators of emotion control part  
 그림 6. 감정 제어부의 액추에이터

본 논문에서 두려움과 슬픈 감정 상태인 경우에는 어플리케이션 칼라 조명과 아로마 디퓨저를 자동 제어하여 그림 6과 같은 조명 테라피와 아로마 테라피 서비스와 센서 측정값을 알 수 있는 어플리케이션을 구현하였다.

## IV. 실험 및 분석

### 4.1 실험 환경 및 데이터 확보 방안



Fig. 7. Using video for experiment  
그림 7. 실험에 사용한 영상

제안하는 시스템에 필요한 감정 데이터를 수집하기 위해 그림 7과 같은 영상을 시청한다. 이 영상은 슬픔, 공포, 기쁨, 평온의 4가지 영상을 각 1분씩 재생하도록 제작하였고, 만들어진 영상을 통해 실험을 진행하였으며, 시청 중 실시간으로 GSR과 PPG를 통해 생체신호 데이터를 수집하였다.

영상 시청 종료 후, 개인마다 감정을 느끼는 차이가 있기 때문에 제작한 설문지를 작성하도록 하였다. 제작한 설문지의 통계를 영상의 적합성과 추후 도출된 데이터와 사용자가 실제 느낀 감정데이터를 비교하는 방식으로 분류 데이터의 수집 정확도를 높였다.

이러한 과정을 통해, 실험 데이터를 300개 이상 수집하였으며, 감정 분류 알고리즘에 사용할 수 있도록 생체신호 처리기를 통해 이상 데이터를 전처리하여 GSR과 PPG의 평균값 및 변화량을 특징으로 추출한 데이터를 SVM 알고리즘을 통해 학습 및 분류하였다.

### 4.2 실험결과

감정 분류 처리에서 얻어진 데이터를 이용하여, 피 실험대상의 감정을 분류 실험을 진행하였다. 우리는 300개 이상의 감정 데이터를 학습하여, 30개의 데이터를 시스템에 분류하였다. 그림 8은 감정분류의 결과 그래프이다. 25개의 감정은 옳은 감정으로 분류되어, 83%의 정확도로 감정이 분류되는 것을 확인하였다.

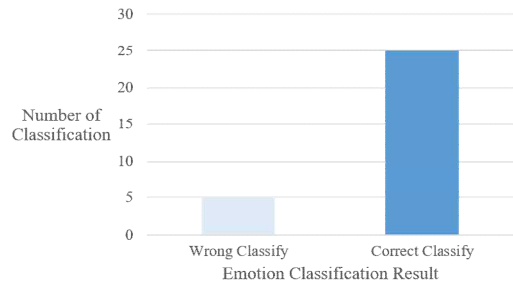


Fig. 8. Emotion Classification Result

그림 8. 감정 분류 결과

그림 9는 우리가 제안하는 감정 분류 케어 시스템을 적용한 실험결과 그래프이다. 이 실험은 Horror와 Sad에서 Relax의 감정 변화와 유도를 판단하기 위해 실험을 수행했다. 각 실험은 180초를 기준으로 Relax 영상을 시청한 뒤, Horror와 Sad 영상으로 변경하도록 하였다. 또, 480초에 Relax 영상으로 변경하고 감정 관리 서비스인 조명과 아로마 테라피를 제공하였다. 그림 8에서 점선 그래프는 Horror 영상으로, 실선 그래프는 Sad 영상으로 변경한 결과이다. 영상을 변경한 180초 기준으로 감정을 판단하는 그래프에서는 PPG와 GSR센서 값의 급격한 변화로 데이터 셋의 입력이 들어가게 된다. 이는 Relax라는 감정 분류가 Horror와 Sad로 변경되는 결과를 초래하였다. 그 후, 감정을 관리하기 시작한 480초에서 20초 지난 500초에서는 점차 센서의 값이 완만한 값들의 데이터 셋이 들어가게 되면서 원래 감정이었던 Relax로 유도되었음을 확인할 수 있었다.

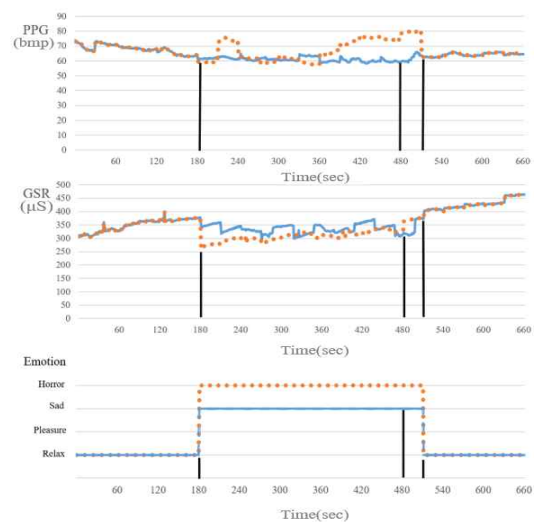


Fig. 9. GSR, PPG change and emotion classification result

그림 9. GSR, PPG 변화량과 감정 분류 결과

## V. 결론

주지하는 바와 같이, 최근에 스트레스로 인한 우발적 범죄와 심리적 장애를 겪는 사람들이 증가하고 있어, 현대인들의 스트레스 관리를 위한 생체신호 기반의 감정 측정 및 제어하는 연구들이 수행되었다.

기존 연구는 감정 분류의 정확도를 높이기 위해 3개 이상의 생체 센서를 사용하고 인공지능 분류기에만 만드는 것에 집중하였다. 이런 연구들은 감정 변화에 대한 분류 알고리즘에 대한 복잡도의 증가와 감정을 제어하는 서비스를 적용한 시스템에는 한계점을 보였다.

본 논문에서 제안한 시스템은 여러 감정들을 분류할 수 있도록 하고, 적당한 복잡도와 정확도를 가지기 위해 GSR과 PPG 생체 센서 2개 이용하여 감정으로 인한 생체신호 값을 얻어내고, 실시간적으로 변화하는 이 센서 데이터를 SVM 알고리즘으로 감정을 분류한 결과 값을 이용하여 인간의 감정을 슬픔과 두려움의 감정을 평온과 기쁨의 감정 상태로 관리해주는 다중 생체신호 분석 기반 스마트 감정 관리 시스템이다.

제안하는 시스템의 검증을 위해, 측정된 생체신호를 이용하여 감정을 분류한 결과, 83%의 정확도로 분류됨을 확인하였으며, 분류한 감정 결과 데이터에 따라 아로마와 조명 테라피를 일정 시간 제공하는 효과로 감정 완화 및 진정하는 효과를 얻음으로써 감정이 관리될 수 있음을 확인하였다.

향후 연구과제는 다양한 감정 서비스 파트를 추가하여 감정 관리에 추가적인 효과를 주는 방법과 두 가지 센서 외에도 감정을 측정할 수 있는 센서를 추가하고, 더 정확한 결과 데이터를 도출할 수 있는 인공지능 분류 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

## References

[1] J. H. Ha, S. H. An, "The Verification of a Structural Relationship Model of Suicidal Ideation to Stress, Coping Styles, Perfectionism, Depression, and Impulsivity," *The Korean Journal of Counseling and Psychotherapy*, vol. 20, no. 4, pp.1149-1171, 2008.

[2] D. H. Lee, J. Y. Kim and J. J. Kim, "An

Exploratory Study on the Possibilities and Limitations of Online Psychotherapy," *The Korean Journal of Counseling and Psychotherapy*, vol. 27, no. 3, pp.543-582, 2015.

[3] P. B. Koff, R. H. Jones, J. M. Cashman, N. F. Voelkel and R. W. Vandivier, "Proactive integrated care improves quality of life in patients with COPD," *European Respiratory Journal*, 33, pp.1031-1038, 2009.

DOI: 10.1183/09031936.00063108

[4] K. H. Chon, J. Y. Oh, S. H. Park, Y. M. Jeong and D. I. Yang, "A Study on Algorithm of Emotion Analysis using EEG and HRV," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 15, no. 10, 2010, pp.105-112.

DOI : 10.9708/jksoci.2010.15.10.105

[5] J. H. Kim, André E, "Emotion recognition based on physiological changes in music listening," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 30, no. 12, 2008, pp. 2067-2083.

DOI: 10.1109/TPAMI.2008.26

[6] C. J. Kim, M. Whang and E. C. Lee, "Identification of arousal and relaxation by using SVM-based fusion of PPG Features," *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Psychological and Behavioral Sciences*, vol. 5, pp.12-14., 2011.

[7] H. Kurniawan, A. V. Maslov, and M. Pechenizkiy, "Stress detection from speech and galvanic skin response signals," *Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems IEEE*, 2013.

DOI: 10.1109/CBMS.2013.6627790

[8] J. J. Kang, M. J. Lim, and K. Y. Lee, "Design and Implementation of an Emotion Recognition System using Physiological Signal," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 10, no.1, pp.57-62, 2010.

[9] J. E. Lee, B. N. Kim and S. K. Yoo, "Neural-network based Computerized Emotion Analysis using Multiple Biological Signals," *Korean Journal of the science of Emotion & sensibility*, vol. 20, no. 2, pp.161-170, 2017.



**BIOGRAPHY**

**Ayoung Noh**(Non-Member)



2018: BS degree in Computer Science,  
Koreatech University

**Youngjoon Kim**(Non-Member)



2018.2: BS degree in Computer  
Science, Koreatech University

**Hyeong-Su Kim**(Student Member)



2017.2: BS degree in Computer  
Science, Koreatech University  
2017.3~: MS degree course in  
Computer Science, Koreatech  
University

**Won-Tae Kim** (Member)



1994.2: BS degree in Electronics  
Engineering, Hanyang University  
1996.2: MS degree in Electronics  
Engineering, Hanyang University  
2000.8: PhD degree in Electronics  
Engineering, Hanyang University

2001.1~2005.2: CTO, Rostic Technologies Inc.

2005.3~2015.8: Team Manager, ETRI

2015.9~: Assistant professor, Koreatech university