

Emotion prediction neural network to understand how emotion is predicted by using heart rate variability measurements

Sung Soo Park*, Kun Chang Lee**

Abstract

Correct prediction of emotion is essential for developing advanced health devices. For this purpose, neural network has been successfully used. However, interpretation of how a certain emotion is predicted through the emotion prediction neural network is very tough. When interpreting mechanism about how emotion is predicted by using the emotion prediction neural network can be developed, such mechanism can be effectively embedded into highly advanced health-care devices. In this sense, this study proposes a novel approach to interpreting how the emotion prediction neural network yields emotion. Our proposed mechanism is based on HRV (heart rate variability) measurements, which is based on calculating physiological data out of ECG (electrocardiogram) measurements. Experiment dataset with 23 qualified participants were used to obtain the seven HRV measurement such as Mean RR, SDNN, RMSSD, VLF, LF, HF, LF/HF. Then emotion prediction neural network was modelled by using the HRV dataset. By applying the proposed mechanism, a set of explicit mathematical functions could be derived, which are clearly and explicitly interpretable. The proposed mechanism was compared with conventional neural network to show validity.

▶Keyword: emotion prediction, HRV(heart rate variability), neural network, inference process interpretation, healthcare devices

1. Introduction

전세계적으로 빠른 속도로 고령화 사회가 진행되고 있다[1]. 빅데이터, 사물인터넷, 인공지능과 같은 정보기술이 크게 발전 하면서[2, 3], 전문적인 의료진이 중심의 헬스 케어[4]에서 의료 서비스를 소비하는 환자 중심의 헬스케어[5, 6]로 패러다임 이 크게 변화하고 있다[7]. 환자 중심의 헬스 케어는 환자의 최 선의 이익을 증대되는 관점에서 환자에게 건강 관리 서비스가 제공되어야 하는 것을 의미한다. 이에 따라 시간과 공간적인 제 약을 극복해서 진료 및 진단이 가능한 유비쿼터스 의료기술 발

달[8]과 헬스 인포매틱스[9] 기술발전이 더욱 빨라지고 있다. 이에 따라 환자가 현재 가지고 있는 감정을 정확하게 예측하는 것이 중요하다[10, 11]. 감정예측은 모든 헬스케어의 효과에 큰 영향을 미치기 때문이다[12, 13].

감정예측은 얼굴 표정, 말, 행동과 같은 비언어적 표현을 이 용한 방법과 생체신호를 이용하는 방법이 있는데, 최근의 헬스 케어 분야에서는 심전도, 뇌파 등의 생체신호자료를 기반으로 감정예측을 하고 있다[14-17]. 감정예측을 위한 여러 방법 중

• First Author: Sung Soo Park, Corresponding Author: Kun Chang Lee

*Sung Soo Park (volf74@empas.com), SKKU Business School, Sungkyunkwan University, Seoul 03063, Republic of Korea

**Kun Chang Lee (kunchanglee@gmail.com), SKKU Business School/SAIHST (Samsung Advanced Institute for Health Sciences & Technology)/Healthcare Informatics Research Center, Sungkyunkwan University, Seoul 03063, Republic of Korea

• Received: 2017. 02. 23, Revised: 2017. 02. 28, Accepted: 2017. 03. 23.

• This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP; Ministry of Science, ICT & Future Planning) (No. 2017R1A2B4010956).

인공신경망은 뛰어난 예측결과를 보인다. 인공신경망은 데이터의 패턴을 인식하는 강력하고, 유연한 모델링 방법이다. 따라서, 인공신경망을 이용한 감정예측은 뛰어난 예측력으로 널리 사용되고 있다[18, 19]. 인공신경망은 인간의 두뇌의 기본 구조 조직인 뉴런(neuron)과 뉴런이 연결되어 일을 처리하는 것을 모방하여 수학적으로 모형화 한 것이다[20]. 뉴런의 기본적인 기능은 정보의 수용과 연산처리, 정보의 출력이며 다수의 뉴런들이 서로 결합되어 인공신경망을 이루고 있다. 그러나, 인공신경망에 의한 감정예측을 헬스케어 현장에 적용하려면 예측결과에 대한 정확한 설명이 필요하다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 환자의 감정을 정확히 예측하면 적절한 처방이 용이하다. 둘째, 환자의 감정을 치료하기 쉬운 상태로 유지할 수 있어 치료효과를 향상시킬 수 있다. 셋째, 환자의 감정에 영향을 주는 주요 요인들을 찾아내고 이를 통제할 수 있다. 인공신경망은 기본적으로 숫자에 의한 연결가중치로 구동되기 때문에 이해하기 쉬운 설명이 어렵다[21]. 인공신경망 모형의 입력변수와 출력변수간의 관계를 설명하는 것은 매우 어려운 문제이다[22, 23].

인공신경망의 모형을 해석하고 모형에 내포되어 있는 인과관계를 밝히기 위한 여러 연구가 진행된 바 있다. Garson(1991)와 Milne(1995)는 인공신경망 모형의 은닉노드 가중치들을 사용하여 입력변수의 상대 중요도를 파악하는 연구를 수행하였다[24, 25]. Zurada(1994)은 민감도 분석으로 인공신경망의 입력의 변동에 대한 출력의 변화를 밝히는 연구를 수행하였다[26].

이러한 연구에도 불구하고 감정예측을 위한 인공신경망 모형으로부터 감정추론 과정을 이해하기 쉬운 수학적함수식으로 도출하고자 하는 연구는 아직 없다. 따라서, 본 연구에서 추구하는 연구질문 (RQ: Research Question)은 다음과 같다. 감정예측을 위한 인공신경망 모형에서 감정예측 추론과정을 이해하기 쉬운 수학적함수식으로 도출하는 메커니즘을 제시한다.

II. Theoretical background

1. Neural Network

인공신경망은 다수의 입력에 대해서 미리 결정된 비선형 함수에 의해서 출력이 이루어지는 형태로, 입력변수와 출력변수간에 내재되어 있는 복잡한 패턴을 학습하는데 효과적이다. 인공신경망은 회귀분석 모형과 달리 변수간의 엄격한 통계적 가정을 요구하지 않고, 학습성과 추론성이 뛰어난 특징이 있다. 가장 널리 사용되는 인공신경망은 역전파학습에 의한 다계층 인공신경망 모형이다[27]. 다계층 인공신경망 모형은 거의 모든 예측문제나 분류문제에 가장 효과적으로 적용될 수 있는 인공신경망 모형으로 알려져 있다[28]. <Fig. 1>은 다계층 인공신경망의 구조를 보여주고 있다.

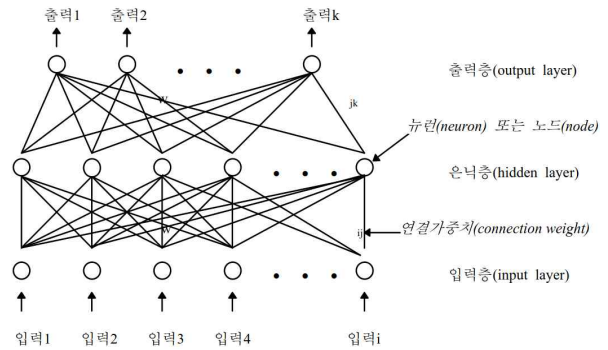


Fig. 1. Structure of multi-layer neural network

다계층 인공신경망은 입력층(input layer), 은닉층(hidden layer), 출력층(output layer)과 같이 다계층으로 구성되어 있고, 각 계층마다 뉴런 또는 노드 (node)라고 일컬어지는 처리 요소 (processing elements)가 다수 존재하는 형태를 띠고 있다. 처리 요소는 여러 다른 처리 요소들로부터 입력을 받아들여 하나의 출력값(Y_j)을 생성하고, 이를 연결된 처리 요소들에게 전달한다. 즉, j 번째 처리요소가 i 번째 처리 요소로부터 전달받은 입력값을 x_i 라고 하면, x_i 는 i 번째 처리 요소의 출력값이다. 인공신경망은 처리 요소들간의 연결강도를 반영하기 위해 연결가중치를 사용하고 이를 w_{ij} 로 표기한다. 각 처리요소들은 전달받은 입력값들과 연결가중치를 사용하여 <식 1>과 같이 순 입력값을 계산하고, 이를 <식 2>를 이용하여 출력값을 결정한다.

$$net_j = \sum x_i w_{ij} \quad \text{<식 1>}$$

$$Y_j = f_j (net_j) \quad \text{<식 2>}$$

이때 입력값을 출력값으로 변환하는 함수 f_j 를 활성화함수 (Activation function) 또는 전이함수(Transfer function) 또는 라고 한다. 활성화함수는 주로 비선형함수로써, 활성화함수의 형태에 따라 노드의 특징이 결정된다. 인공신경망에 사용되는 대표적인 활성화함수는 시그모이드 형태의 하이퍼탄젠트 함수이다.

일반적으로 인공신경망은 블랙박스화 되어 생성된 모형의 내부를 파악하기 어렵다고 알려져 있다. 하지만, 인공신경망 내의 각 노드의 가중치와 노드의 활성화함수를 사용하여 함수식으로 표현하면, 블랙박스의 내부를 이해하고 해석을 할 수 있다[29].

은닉노드의 출력은 입력노드와 은닉노드간의 가중치와 입력값의 곱한 값들의 합으로 계산된다. 예를 들어 은닉노드1의 함수식의 형태는 <식 3>과 같다.

$$\begin{aligned} \text{은닉노드1 출력} &= \text{활성함수} * (\\ &\text{입력변수1} * \text{입력노드1과 은닉노드1가중치} + \\ &\text{입력변수2} * \text{입력노드2와 은닉노드1가중치} + \\ &\dots + \\ &\text{입력변수n} * \text{입력노드n과 은닉노드m가중치} + \end{aligned} \quad \text{<식 3>}$$

Table 1. Previous studies of artificial neural networks for emotion prediction

Author	Year	Signals	Elicitation	Emotion Class	Model Performance*
Haag et al.	2004	EMG, SC, ST, BVP, ECG, RSP	IAPS	Valence and arousal	V 63.8 A 89.7
Ma et al.	2004	Facial expressions	Extract from facial expression database	Neutral, smile, anger, sadness, and surprise	97
Monwar et al.	2006	Facial features in pain video clips	Moving hands or pressing something or shaking heads	Painful or Painless	92
Seol et al.	2008	Sentence with no emotional keywords	Knowledge Information	Anger, fear, hope, sadness, love, thank, neutral	70
Moridis et al.	2009	Number information of test questions	Multiple choice questions in examination	Neg, Pos Moods	87
Nicolaou et al.	2011	Audio, Facial, Shoulder	Human-computer conversations	Valence and arousal	V 85 A 87
Russo et al.	2013	ECG, RSP, EDR, eye EMG, mouth EMG	Classical music excerpts	Valence and arousal	V 89.7 A 88.9

*A=Arousal, V=Valence

인공신경망 모형에서 최종 예측값을 계산하는 출력노드 내의 함수식의 형태는 <식 4>와 같다.

$$\begin{aligned} \text{예측값} &= \text{은닉노드1과 출력노드 가중치} * \text{은닉노드1 출력} \\ &+ \dots + \\ &\text{은닉노드n과 출력노드 가중치} * \text{은닉노드n 출력} \quad \text{<식 4>} \end{aligned}$$

최종 예측값은 은닉노드와 출력노드간의 가중치와 은닉노드의 출력을 곱한 값들의 합으로 계산된다.

지금까지의 내용을 정리하면, 은닉노드의 함수식인 <식 3>과 출력노드의 함수식인 <식 4>를 조합하면 인공신경망 모형의 내부를 나타내는 함수식을 얻을 수 있다.

2. Emotion Prediction Model

2.1 Neural Network-Based Emotion Prediction

Table 1.에 인공신경망을 사용한 감정예측 연구들을 정리하였다. Haag(2004)는 감정예측 시스템의 관점에서 인공신경망을 사용한 감정예측에 대한 연구를 수행하였다[30]. 그는 감정 유발 사진(IAPS)으로 감정을 자극하는 동안 수집된 생체신호 - 혈액량 펄스(Blood Volume Pulse; BVP), 심전도(Electrocardiogram; ECG), 피부전도도(Electrodermal Response; EDR), 호흡활동(Respiration Activity; RSP), 피부온도(Skin Temperature; ST), 근전도(Electromyogram; EMG) -를 사용하는 감정예측에 인공신경망을 사용하였다. 생체 신호를 입력변수, 측정된 감정점수를 출력변수로 하는 인공신경망 모형으로 80%이상의 감정예측 정확도를 보였다. 또한, 인공신경망 모형은 각성도(Arousal)을 예측정확도가 더 높음을 밝혔다. 이후 다양한 상황과 입력값으로 감정예측을 하는 인공신경망을 이용한 대한 연구가 진행되었다. Ma et al.(2004)은 인공신경망을 사용하여 사람의 얼굴표정(Facial expressions)으로 다섯 가지 감정을 예측하는 연구를 수행하였고[31], Monwar et al. (2006)은 사람이 고통을 느끼는 상태를 예측하

는 연구를 수행하였다[32]. Seol et al.(2008)은 문장내의 감정적이지 않은 단어에서 감정을 예측하는 연구를 수행하였다[33]. Moridis et al.(2009)는 선다형 문제를 푸는 과정에서 목표한 점수와 추가 획득 할 점수, 남은 문제 수 등의 정보를 사용하여 감정상태를 예측하는 연구를 수행하였다[34]. Nicolaou et al.(2011)는 사람과 컴퓨터 상의 아바타가 대화하는 상황에서 수집된 비언어적 행동으로 감정예측을 인공신경망으로 하였다[35]. Russo et al.(2013)는 클래식 음악으로 감정을 유발하고 심전도, 호흡 활동, 피부전도도와 안면근전도에서 측정된 생체신호를 사용하여 다중회귀분석과 인공신경망 모형의 감정인식 정확도를 비교하는 연구를 수행하였다. 연구의 결과는 인공신경망의 감정 인식 정확도가 90%에 가깝게 우수한 성능을 보였다. 또한, 연구자들은 Milne의 알고리즘을 사용하여, 인공신경망 모형의 입력인 6가지 생리신호 중 호흡 활동이 긍정감정 예측에 높은 기여를 하고, 피부전도도는 부정감정 예측에 높은 관계가 있는 것을 밝혔다[36]. 그러나, 본 연구에서와 같이 어떤 연구도 비선형적인 감정예측 모형을 이해하기 위한 연구는 수행된바 없다.

이에 따라 본 연구는 다음과 같은 연구를 시도한다. 첫째, 인공신경망을 사용한 감정예측 모형의 내부를 구성하는 은닉, 출력 노드를 함수식으로 나타낸다. 둘째, 이를 사용하여 생리신호인 심박변이도와 이의 변동에 따라 유발된 감정 간의 관계를 밝힌다.

III. Method

본 연구를 수행하기 위하여 피험자를 대상으로 실험을 실시하였다. 실험동안의 심전도 데이터를 수집하고, 감정예측을 위한 인공신경망 모형을 생성하였다.

1. Data

본 연구에 사용할 자료는 서울소재 대학교에 재학중인 학생

총 23명의 피험자를 대상으로 감정을 유발하고 심전도를 수집한 자료이다. 피험자는 모두 남자이고, 연령대는 20~29으로 평균연령은 23.6(SD=2.98)이다.

감정은 자기보고 방식으로 SAM(Self-Assessment Manikin)을 사용하여 측정하였다. 측정 척도는 숫자를 사용하여 Valence는 1(불쾌한)~9(기분좋은), Arousal은 1(평온한)~9(흥분되는)로 나타내도록 했다.

심전도는 Einthoven의 표준사지유도법에 따라 양쪽 손목과 왼쪽 발목에 전극을 부착하고 측정하였다. 최초 5분간 실험 참가자의 표준 상태의 심전도를 측정하고, 이후 감정 유도를 위한 사진(IAPS)을 5분간 바라보게 하면서 감정 상태의 심전도를 측정하였다. 심전도 신호는 BIOPAC MP150 하드웨어를 통해 증폭시키고 MP150 A/D 변환기와 AcqKnowledge v4.1 프로그램을 이용하여 저장하였다. 안정적인 심전도 데이터를 얻기 위해 주파수가 1 Hz ~ 35 Hz 인 밴드 패스 필터를 적용하여 노이즈를 제거하였다.

수집된 심전도 데이터에서 표준상태와 감정유발 상태의 심박동 사이의 간격(RR interval) 데이터를 추출하여 각각 text파일 형태로 저장하고, 이를 이용해 Kubios[37]에서 심박변이도를 계산하였다. 시간 영역 지표는 mean RR, SDNN, RMSSD, 주파수 영역 지표는 VLF(ms2), LF(ms2), HF(ms2), LF/HF(ms2)의 7가지 표준 및 감정 상태의 심박변이도를 추출하고, <식 5>와 같이 표준상태와 감정상태의 심박변이도의 변동비를 계산하였다.

$$HRV_{ratio} = \frac{(HRV_{emotion} - HRV_{reference})}{HRV_{reference}} \quad <식 5>$$

2. Model for Preciting Emotion

감정예측 모델을 개발하기 위해 7개 심박변이도 변동비를 입력으로 하고, Valence을 출력으로 하는 인공신경망 모델을 개발하였다. 은닉층의 최적 노드 수를 찾기 위해 Kolmogrov정의[38]에 따라 은닉노드 수를 1~2n+1(n: 입력노드의 수)개 사이로 설정하여 최적 노드 수를 찾고, 은닉노드 수를 3개로 설정하였다<그림 2>.

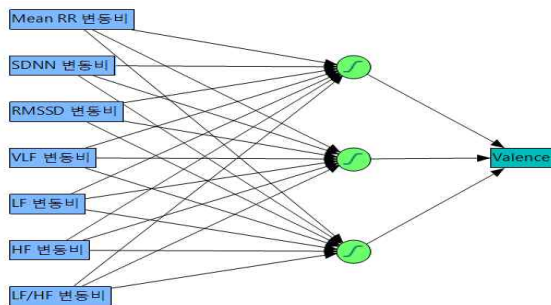


Fig. 2. Emotion Prediction Neural Network model

은닉노드의 활성화함수는 하이퍼탄젠트로 하여 다양하고 복잡한 입력에 대해 효과적인 감정예측이 가능하도록 하였다. 모형의 과적합 방지 및 타성성을 확보하도록 10Fold 교차 타당도 방식으로 모형을 학습하였다. 생성된 모형의 설명력(R2)는 85.8%이고, 측정값과 예측값의 상관계수(r)은 0.921이고, 평균 제곱근 오차(RMSE)는 0.565, 평균 절대 오차(MAE)는 0.425가 나왔다.

본 연구의 감정예측 모형과 비교를 위해 또 다른 데이터마이닝 도구인 웨카[39]에서 인공신경망 모형을 생성하였다. 웨카(Weka)에서 제공하는 MLPRegressor를 사용하였고, 학습 모형의 파라미터와 옵션은 은닉노드 수와 활성화함수를 제외하고는 기본설정을 사용하였다. MLPRegressor는 은닉층의 은닉노드 수를 2개, 활성화함수를 ApproximatedSigmoid로 할 때 가장 좋은 예측 성능을 보였다. 본 연구의 인공신경망 감정예측 모형과 웨카 모형을 비교한 결과는 표 2.와 같다. 웨카 인공신경망 모형의 측정값과 예측값의 상관계수(r)은 0.203이고, 평균 제곱근 오차(RMSE)는 1.609, 평균 절대 오차(MAE)는 2.016이다. 두 가지 인공신경망 모형을 비교한 결과 본 연구의 감정예측 모형이 더 좋은 성능을 나타내었다.

Table 2. Results of Emotion Prediction Modeling

Measures	This study	MLPRegressor
Correlation	0.921	0.203
RMSE	0.565	1.609
MAE	0.425	2.016

IV. Result

1. Functions Extracted from Neural Network

본 연구는 복잡하고 비선형적인 구조를 가지는 인공신경망 내부를 이해하고 해석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 인공신경망 감정예측 모형의 입력-은닉-출력노드의 노드가중치와 활성화함수를 사용하여 함수형태로 나타내고, 감정예측 과정을 파악하였다. 연구로부터 도출한 인공신경망 감정인식 모형의 은닉노드(H1)의 함수식은 <식 6>과 같다.

$$H1 = \text{TanH}((5.6757 * \text{Mean RR} + -10.6432 * \text{RMSSD} + 1.1987 * \text{LF} + -0.3563 * \text{VLF} + 3.6966 * \text{SDNN} + 1.8456 * \text{LF/HF} + -3.0287 * \text{HF} + -5.6431) * 0.5) \quad <식 6>$$

입력노드 Mean RR과 RMSSD의 가중치는 각각 5.68과 -10.64로 다른 입력노드의 가중치에 비해 높게 나타나고 있다.

Mean RR값의 증가는 은닉노드1의 출력을 1에 가깝게 하고, RMSSD가 높을수록 -1에 가깝게 한다. 또한, Mean RR에 비해 RMSSD의 값의 변동이 은닉노드1의 출력을 더 크게 변동시키게 된다. 마지막으로 은닉노드가 가지는 편향(Bias)을 -5.6431를 더하여 보정하였다.

Valence의 예측값을 산출하는 출력노드의 함수식은 <식 7>과 같다. 은닉노드1(H1)의 가중치는 -4.04이고 은닉노드 2와 3은 각각 1.47, -2.56이다. 즉, 은닉노드1의 출력이 높아질수록 출력노드에서 음(-)의 가중치로 인하여 Valence예측값은 낮게 계산될 것이다. 반대로 은닉노드2(H2)의 출력이 증가할수록 Valence의 예측값은 높게 나타나게 된다.

$$\begin{aligned} \text{Predicted Valence} = & 3.6639 + \\ & -4.0404 * H1 + \\ & 1.4700 * H2 + \\ & -2.5611 * H3 \end{aligned} \quad \text{<식 7>}$$

<식 6>과 <식 7>을 연결해서 해석하면, Mean RR의 상승은 은닉노드1의 출력을 증가시키지만 Valence의 예측값을 낮출 것이다. 이와 반대로 RMSSD의 상승은 은닉노드1의 출력을 낮추지만 Valence의 예측값은 높게 된다. 최종적으로 인공신경망의 은닉노드1~3과 출력노드를 함수식으로 나타내면 <식 8>과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Predicted Valence} = & 3.6639 + (\\ & -4.0404 * (\\ & \text{TanH} \\ & (5.6757 * \text{Mean RR} + \\ & -10.6432 * \text{RMSSD} + \\ & 1.1987 * \text{LF} + \\ & -0.3563 * \text{VLF} + \\ & 3.6966 * \text{SDNN} + \\ & 1.8456 * \text{LF/HF} + \\ & -3.0287 * \text{HF} + -5.6431) * 0.5 \\ &) \\ &) + \\ & 1.4700 * (\\ & \text{TanH} \\ & (-81.8877 * \text{Mean RR} + \\ & -3.8032 * \text{RMSSD} + \\ & 0.3358 * \text{LF} + \\ & -0.6148 * \text{VLF} + \\ & -4.8429 * \text{SDNN} + \\ & 1.1391 * \text{LF/HF} + \\ & 12.6740 * \text{HF} + 1.6062) * 0.5 \\ &) \\ &) + \\ & -2.5611 * (\\ & \text{TanH} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (-133.58067 * \text{Mean RR} + \\ & 8.3234 * \text{RMSSD} + \\ & -1.8949 * \text{LF} + \\ & -0.0280 * \text{VLF} + \\ & -8.7338 * \text{SDNN} + \\ & -4.2056 * \text{LF/HF} + \\ & 4.4552 * \text{HF} + 8.1003) * 0.5 \\ &) \\ &) \\ &) \end{aligned} \quad \text{<식 8>}$$

웨카의 경우 제공되는 은닉노드와 출력노드의 가중치를 사용하여 인공신경망의 대략적인 구조는 알 수 있다. 은닉노드의 활성화함수를 ApproximatedSigmoid로 선택하는 경우, 정확한 함수꼴을 알 수 없다. 결국 웨카 인공신경망 모형은 내부의 구조를 정확하게 해석하고 이해하는데 한계를 보인다.

2. Usefulness of the Functions by Neural Network

본 연구에서 다룬 인공신경망 감정예측 모형의 함수는 다양한 방면에 활용 될 수 있다.

함수화한 감정예측 모형은 여러 가지 시스템에 이식되어 활용 가능하다. 본 연구에서 제시된 인공신경망 감정예측 함수는 컴퓨터 프로그래밍 언어인 C, Java, Python 등의 코드로 변환하여, 목적하는 시스템에 적용이 용이하다. 특히 최근에 많이 연구되는 웨어러블 컴퓨터나 사물 인터넷의 경우 사용자와의 상호작용이 중요한 부분이다[40]. 예를 들어, 웨어러블 기기가 사용자의 감정적인 맥락을 이해하고 사용자와 상호작용 할 수 있다면[41], 사용자가 지각하는 시스템의 가치와 효용성을 더 높일 수 있다[42].

본 연구의 결과를 활용해서 시스템이 사용자의 감정을 예측하고, 능동적으로 사용자에게 반응할 수 있다. 또한, 시스템이 사용자와 원활한 상호작용하기 위해서는 감정 예측 정확도가 중요한 요소이다. 본 연구의 실험 결과는 다른 감정예측 모형에 비해 높은 예측 정확도를 보였다. 이러한 결과를 기반으로 더욱 신뢰성 높고, 견고한 시스템의 개발 및 구현이 가능하다.

V. Concluding Remarks

본 연구는 인공신경망을 구성하는 은닉, 출력 노드의 함수식을 제시하고 이를 사용하여 입력변수와 출력변수간의 관계를 밝히는 것이다. 연구 결과는 인공신경망 감정예측 모형의 입력노드, 은닉노드, 출력노드 간의 가중치와 활성화함수를 사용하여 노드의 함수식을 도출하였다. 또한, 전체 인공신경망 모형을 함수식으로 변화하여 연구자가 인공신경망 내부에서 일어나는 입력과 출력간의 관계를 해석할 수 있도록 하였다. 본 연구의 결과를 사용하여 복잡하게 얽혀있는 생리신호와 감정 간의 관계

를 파악하는데 활용할 수 있다.

감정예측 과정과 이유를 알 수 있다. 감정은 사람에 대한 것으로, 사람 내면에서 발생하는 생리신호와 감정간의 매커니즘과 관계에 대해서 더 포괄적이고 심도 있는 파악이 가능하다. 본 연구에 제시된 함수를 사용하여 보다 고도화되고 정교한 감정예측 모형으로 발전시킬 수 있다. 함수식에 포함된 은닉노드에 대한 활성화함수의 변경 및 가중치 수정으로 개인감정의 시물레이션이 가능하다[43]. 이를 통하여 입력으로 사용된 생체신호가 사람이 인지하는 감정으로 발현되는 중간과정을 파악할 수 있고 이전의 연구에서 파악하지 못한 생체신호와 감정간의 연결 관계를 밝힐 수 있다.

향후 연구는 은닉노드의 함수식을 생리신호의 특징 추출로 활용하는 것이다. 은닉노드의 함수식으로 비선형적인 생리신호를 선형적인 변수로 변경하고, 이를 통해 보다 안정적이고 이해도 높은 감정예측 모형의 개발이 가능할 것이다.

Reference

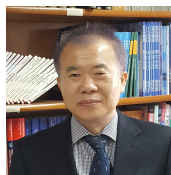
- [1] D. E. Bloom, E. T. Cafiero, E. Jane-Llopis, S. Abrahams-Gessel, L. R. Bloom, S. Fathima, A. B. Feigl, T. Gaziano, M. Mowafi, A. Pandya, K. Prettnner, L. Rosenberg, B. Seligman, A. Z. Stein, and C. Weinstein, "The Global Economic Burden of Non-Communicable Diseases," Geneva, Switzerland: World Economic Forum, July 2011.
- [2] J. Mervis, "Agencies rally to tackle big data," *Science*, Vol. 336, No.6077, pp. 22-22, 2012.
- [3] K. R. Kim, J. G. Yun, and S. G. Yoon, "Analysis on the Status of Korean Major Firms Entering into HT Fusion New Business," Korea Health Industry Development Institute, 2014. Download <https://www.khidi.or.kr/fileDownload?titleId=128633&fileId=1&fileDownType=C¶mMenuId=MENU01101>
- [4] J. A. Sacristan, "Patient-centered medicine and patient-oriented research: improving health outcomes for individual patients," *BMC Medical Informatics and Decision Making*, Vol. 13, No. 1, pp. 6-13, 2013.
- [5] M. Phelan, L. Stradins, and S. Morrison, (2001). "Towards a global definition of patient centred care," *British Medical Journal*, Vol. 322, pp. 444-445, 2001.
- [6] M. Ozkaynak, P. F. Brennan, D. A. Hanauer, S. Johnson, J. Aarts, K. Zheng, and S. N. Haque, "Patient-centered care requires a patient-oriented workflow model," *Journal of the American Medical Informatics Association*, Vol. 20, No. e1, pp. e14-e16, 2013.
- [7] C. M. Tucker, T. M. Arthur, J. Roncoroni, W. Wall, and J. Sanchez, "Patient-centered, culturally sensitive health care," *American Journal of Lifestyle Medicine*, Vol. 9, No. 1, pp. 63-77, 2015.
- [8] S. M. Yoon and M. H. Lee, "Current Status and Prospects of Life Appliance based Healthcare System," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, Vol. 31, No. 12, pp. 31-37, Nov. 2014.
- [9] Y. L. Zheng, X. R. Ding, C. C. Y. Poon, B. P. L. Lo, H. Zhang, X. L. Zhou, ... and Y. T. Zhang, "Unobtrusive sensing and wearable devices for health informatics," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 61, No. 5, pp. 1538-1554, 2014.
- [10] A. J. Wearden, N. Tarrrier, C. Barrowclough, T. R. Zastowny, and A. A. Rahill, "A review of expressed emotion research in health care," *Clinical psychology review*, Vol. 20, No. 5, pp. 633-666, 2000.
- [11] B. Freshman, and L. Rubino, "Emotional intelligence: a core competency for health care administrators," *The health care manager*, Vol. 20, No. 4, pp. 1-9, 2002.
- [12] Y. F. Birks, and I. S. Watt, "Emotional intelligence and patient-centred care," *Journal of the Royal Society of Medicine*, Vol. 100, No. 8, pp. 368-374, 2007.
- [13] S. Mann, "A health-care model of emotional labour: an evaluation of the literature and development of a model," *Journal of health organization and management*, Vol. 19, No. 4/5, pp. 304-317, 2005.
- [14] C. D. Katsis, N. S. Katertsidis, and D. I. Fotiadis, "An integrated system based on physiological signals for the assessment of affective states in patients with anxiety disorders," *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol. 6, No. 3, pp. 261-268, 2011.
- [15] P. A. Kragel, and K. S. LaBar, "Multivariate pattern classification reveals autonomic and experiential representations of discrete emotions," *Emotion*, Vol. 13, No. 4, pp. 681-690, 2013.
- [16] J. Selvaraj, M. Murugappan, K. Wan, and S. Yaacob, "Classification of emotional states from electrocardiogram signals: a non-linear approach based on hurst," *Biomedical engineering online*, Vol. 12, No. 44, 2013.
- [17] G. Valenza, L. Citi, A. Lanata, E. P. Scilingo, and R. Barbieri, "Revealing real-time emotional responses: a personalized assessment based on heartbeat dynamics," *Scientific reports*, Vol. 4, No. 4998, pp. 1-13, 2014.
- [18] M. Swangnetr, and D. B. Kaber, "Emotional state classification in patient-robot interaction using wavelet analysis and statistics-based feature selection," *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, Vol. 43, No. 1, pp. 63-75, 2013.
- [19] D. Kukulja, S. Popović, M. Horvat, B. Kovač, and K. Čosić, "Comparative analysis of emotion estimation methods based on physiological measurements for real-time applications," *International Journal of*

- Human-Computer Studies, Vol. 72, No. 10, pp. 717-727, 2014.
- [20] C. M. Bishop, "Neural Networks for Pattern Recognition" Clarendon Press, Oxford, 1995.
- [21] F. Stahl and I. Jordanov, "An overview of use of neural networks for data mining tasks," WIREs: Data Mining and Knowledge Discovery, pp. 193-208, 2012.
- [22] J. A. Anderson, "An Introduction to Neural Networks" MIT press, 1995.
- [23] B. D. Ripley, "Pattern Recognition and Neural Networks" Cambridge University Press, 1996.
- [24] G. D. Garson, "Interpreting neural-network connection weights," AI Expert, Vol. 6, pp. 47-51, 1991.
- [25] L. K. Milne, "Feature selection with neural networks with contribution measures," In Proceedings of the Australian Conference on Artificial Intelligence AI'95, Canberra, 1995.
- [26] J. M. Zurada, A. Malinowski, and I. Cloete, "Sensitivity analysis for minimization of input data dimension for feedforward neural network," Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Vol. 6, pp. 447-450, May 1994.
- [27] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, "Learning Internal Representations by Error Propagation," Parallel Distributed Processing, Vol. 1, pp. 318-362, 1986.
- [28] S. Haykin, "Neural Network" Prentice Hall, 1994.
- [29] P. De Wilde, "Neural network models: theory and projects" Springer Science & Business Media, 2013.
- [30] A. Haag, S. Goronzy, P. Schaich, and J. Williams, "Emotion recognition using bio-sensors: First steps towards an automatic system," In Tutorial and research workshop on affective dialogue systems, Springer Berlin Heidelberg, pp. 36-48, June 2004.
- [31] L. Ma, and K. Khorasani, "Facial expression recognition using constructive feedforward neural networks," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), Vol. 34, No. 3, pp. 1588-1595, 2004.
- [32] M. M. Monwar, and S. Rezaei, "Pain recognition using artificial neural network. In Signal Processing and Information Technology," 2006 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, pp. 28-33, August 2006.
- [33] Y. S. Seol, D. J. Kim, and H. W. Kim, "Emotion recognition from text using knowledge-based ANN," 23rd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC), pp. 1569-1572, July 2008.
- [34] C. N. Moridis, and A. A. Economides, "Prediction of student's mood during an online test using formula-based and neural network-based method," Computers & Education, Vol. 53, No. 3, pp. 644-652, 2009.
- [35] M. A. Nicolaou, H. Gunes, and M. Pantic, "Continuous prediction of spontaneous affect from multiple cues and modalities in valence-arousal space," IEEE Transactions on Affective Computing, Vol. 2, No. 2, pp. 92-105, 2011.
- [36] F. A. Russo, N. N. Vempala, and G. M. Sandstrom, "Predicting musically induced emotions from physiological inputs: Linear and neural network models," Frontiers in Psychology, Vol. 4, No. 468, 2013.
- [37] M. P. Tarvainen, J. P. Niskanen, J. A. Lipponen, P. O. Ranta-Aho, and P. A. Karjalainen, "Kubios HRV-heart rate variability analysis software," Computer methods and programs in biomedicine, Vol. 113, No. 1, pp. 210-220, 2014.
- [38] R. Hecht-Nielsen, "Theory of the Back Propagation Neural Network," Proceeding of the International Joint Conference on Neural Networks, pp. 593-605, 1989.
- [39] I. H. Witten, and E. Frank, "Data Mining: Practical machine learning tools and techniques" Morgan Kaufmann, 2005.
- [40] S. W. Byun, S. P. Lee, "Emotion Recognition Using Tone and Tempo Based on Voice for IoT," The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 65, No. 1, pp. 116-121, 2016.
- [41] Y. J. Kang, "Smart Affect Jewelry based on Multi-modal," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 20, No. 7, pp. 1317-1324, 2016.
- [42] P. S. Kim, "Technology and development trends related to human-friendly emotional robots," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, 33(8), 19-27, 2016.
- [43] C. D. Katsis, N. S. Katertsidis, and D. I. Fotiadis, "An integrated system based on physiological signals for the assessment of affective states in patients with anxiety disorders," Biomedical Signal Processing and Control, Vol. 6, No. 3, pp. 261-268, 2011.

Authors



Park Sung-soo is a Ph.D. student in Business Administration at Sungkyunkwan University, Korea. He is interested in big data-mining based emotion prediction, HRI (Human-Robot Interaction) and artificial intelligence.



Kun Chang Lee is a full professor of MIS in SKKU Business School at Sungkyunkwan University. He is now in charge of Creativity Science Research Institute (CSRI) and Healthcare Informatics Research Center (HIRC) as well, Sungkyunkwan University.

His recent research interests lie in data mining, health informatics, creativity science, Human-Robot Interaction (HRI), and artificial intelligence techniques in decision making analysis.