

로봇활용 공동 주의 훈련자극에 대한 사용자 반응상태를 추정하는 프로세스

김다영¹ · 윤상석^{2*}

The process of estimating user response to training stimuli of joint attention using a robot

Da-Young Kim¹ · Sang-Seok Yun^{2*}

¹Researcher, Korea Institute of Robotics and Technology Convergence, Pohang-si, 37666 Korea

^{2*}Assistant professor, Division of Mechanical Convergence Engineering, Silla University, Busan, 46958 Korea

요 약

본 연구는 사회적 상호작용 훈련자극에 반응하는 아동의 행동 및 정서적 긴장상태를 연산하는 심리반응 상태 추정 프로세스를 제안한다. 행동 증재에 필요한 훈련자극으로는 공동 주의(Joint attention) 사회적 훈련을 채택하고, 훈련프로토콜은 불연속 개별시도 훈련(DTT: Discrete trial training)기법이 적용된다. 공동 주의 훈련에서 사용자의 집중과 긴장 정도를 확인하기 위해 3가지 훈련자극용 콘텐츠를 구성한 후, 캐릭터 형태의 탁상 로봇을 이용하여 사용자에게 훈련자극을 수행하게 된다. 그런 다음, 비전 기반 헤드 포즈 인식기와 기하학 연산모델로 사용자 응시반응을 추정하고, PPG와 GSR의 생체신호를 심박변이도와 히스토그램 기법으로 신경계 반응을 분석한다. 로봇을 활용한 실험에서 공동 주의에 대한 각 콘텐츠 별 훈련에 사용자의 심리반응을 정량화 할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a psychological state estimation process that computes children's attention and tension in response to training stimuli. Joint attention was adopted as the training stimulus required for behavioral intervention, and the Discrete trial training (DTT) technique was applied as the training protocol. Three types of training stimulation contents are composed to check the user's attention and tension level and provided mounted on a character-shaped tabletop robot. Then, the gaze response to the user's training stimulus is estimated with the vision-based head pose recognition and geometrical calculation model, and the nervous system response is analyzed using the PPG and GSR bio-signals using heart rate variability(HRV) and histogram techniques. Through experiments using robots, it was confirmed that the psychological response of users to training contents on joint attention could be quantified.

키워드 : 인간로봇상호작용, 눈맞춤, 사회적 보조 로봇, 자폐증, 공동 주의

Keywords : Human-robot interaction, Eye contact, Socially assistive robots, Autism, Joint attention

Received 16 July 2021, Revised 1 August 2021, Accepted 12 August 2021

* Corresponding Author Sang-Seok Yun(E-mail:ssyun@silla.ac.kr, Tel:+82-51-999-5306)

Assistant professor, Division of Mechanical Convergence Engineering, Silla University, Busan, 46958 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.10.1427>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© 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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

미국 국립 질병통제예방센터(CDC)의 조사에 따르면 자폐 범주성 장애(ASD: Autism Spectrum Disorders) 아동은 관심을 보이는 영역이 제한적이고, 다른 사람이 지시하는 방향을 쳐다보지 않거나 눈 맞춤을 거부하면서 특정한 행동을 반복하는 경향을 가진다고 한다[1]. 이러한 증상의 개선을 위해 사회적 상호작용 중 하나인 공동 주의(Joint attention) 결여와 불안 정서를 가진 자폐 범주성 장애 아동의 중재 치료를 위한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다.

특히, 로봇은 자폐 범주성 장애 아동에게 적절한 훈련 자극을 제시할 수 있으며, 예측 가능하고 일관적인 반응으로 아동의 관심을 끄는데 효과적이고, 로봇의 외형 자체로도 보상이 될 수 있다는 점에서 아동에게 매력적으로 작용한다[2,3].

II. 이론적 배경

실제, 친근한 외모에 단순한 기능을 가진 Leka, Keepon 로봇이 사회적 상호작용과 의사소통 능력을 향상시키기 위해 개발되었으며, 자폐 범주성 장애 아동들을 대상으로 훈련 프로토콜을 수행하여 참가 아동이 로봇과 교감하거나 눈 맞춤, 얼굴 표정 등 훈련 자극에 반응하는 연구를 비롯하여, 로봇과의 사회적 상호작용 훈련 이후 보호자에게 그 경험을 공유하거나 스스로 훈련을 모방하는 연구결과를 제시하고 있다[4].

더불어 로봇은 자폐 범주성 장애 아동에게서 상호 작용 행동에 대한 더 높은 동기와 관심을 이끌어내어 사회적 의사소통 행동 훈련 결과에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사하고 있다[5].

하지만, 기존 연구는 대상 아동에게 로봇을 이용한 다양한 행동 훈련의 자극 제공에만 중점을 두고 있으며[6], 실제 임상실험에서 관찰자의 평가에 의존하거나 일부 비전인식 기술에 기반하여 행동 중재를 수행함으로써 [7], 아동의 행동 반응뿐만 아니라 심리적인 상태를 추정하기에는 분명 한계를 가진다. 이 부분은, 자폐 아동을 포함한 학령전기 아동을 대상으로 로봇을 이용하여 제공되는 훈련 자극에 대한 행동 반응과 더불어 심리적 반응을 정량적으로 추정할 수 있는 근거에 대한 연구가

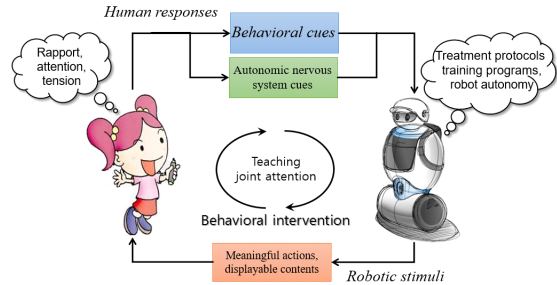


Fig. 1 Conceptual diagram for estimating the psychological feedback of children from robotic intervention stimuli

상대적으로 부족함을 보여주고 있다.

본 연구는 사회적 상호작용을 용이하게 하는 훈련 과정에서 반응하는 아동의 행동 및 정서적 긴장상태를 추정하기 위한 반응상태 프로세스를 제안한다 (그림 1 참조). 구체적으로, 상호작용 행동 중재 프로토콜을 기반으로 탁상 로봇을 이용한 사회성 훈련 자극을 제공하고, 비전 기반 헤드 포즈 인식을 이용하여 행동 반응에 대한 집중 정도 분석, 생체신호 측정 및 변화 분석을 통해 긴장 상태에 대한 정량적 수치를 추정한 후, 최종적으로 심리반응 상태를 분류할 수 있도록 구성하고 있다.

III. 반응 상태 추정 프로세스

3.1. 로봇활용 행동중재 프로토콜 설계

로봇을 이용한 상호작용 대상자의 반응심리 상태를 추정하기 위한 프로세스는 기본적으로 자폐 범주성 장애 아동의 행동 중재를 목적으로 하는 불연속 개별시도 훈련(DTT: Discrete Trial Training) 프로토콜을 기반으로 하고 있다. 이는 특정 기술을 단순하게 나누어 반복적으로 훈련시키는 방법으로 사회적 상호작용, 정서적 표현 등의 다양한 행동 훈련을 학습하는 데 효과적이기 때문이다[8]. 그림 2와 같이, 본 프로세서에서는 DTT 프로토콜에 따른 훈련 자극으로부터 대상자의 정량적인 반응 지표를 긴장과 집중의 2가지 항목으로 추정하고자 한다.

먼저, 제안하는 프로세스에서 로봇이 상호작용 대상자를 인식하게 되면, 인사하기 혹은 이름 부르기 등과 같이 심리치료에서 주로 사용되는 친밀감(Rapport) 형성 단계를 수행하게 된다. 그런 다음, 공동 주의(Joint attention)를 훈련하기 위한 복수의 콘텐츠 기반 자극을

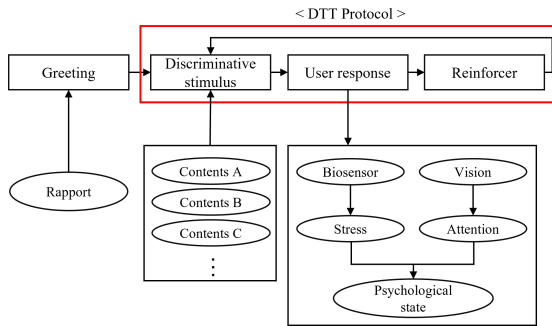


Fig. 2 The process of extracting response indicators of children's tension and attention based on the DTT protocol

제시한 후, 대상자의 반응을 인식하게 된다. 여기서 신경계 반응은 생체신호 분석을 통하여 긴장의 정도를 추정하게 되며, 행동학적 반응은 사용자의 헤드 모션을 비전으로 인식하여 훈련의 집중 정도를 추정하게 된다. 그리고, 대상자가 훈련 자극에 응시 반응을 하게 되면, 프로세스는 DTT 프로토콜에 따라 사회적 상호작용 훈련을 강화하기 위한 후속 자극(보상 혹은 독려)을 수행함으로써 하나의 주기를 형성하게 된다.

3.2. 응시 반응 인식

제안하는 DTT 프로토콜에서 특정 기술은 공동 주의 훈련을 목표로 하고 있으며, 이는 사건이나 물건에 대한 인식을 타인과 공유하고 주의를 집중하는 사회적 상호작용 능력으로, 응시하기(Gaze monitoring), 가리키기(Pointing), 주기(Giving), 보여주기(Showing) 등의 범주화 된 행동으로 구분된다[9].

본 연구에서는 공동 주의 행동 중 하나인 응시하기를 인식하기 위해 비전 인식을 기반으로 하는 사용자 헤드 포즈와 공간 내 기하학적 정보를 바탕으로 대상자가 바라보는 응시점을 추정하게 되며, 그 과정은 그림 3과 같이 6단계로 구성된다.

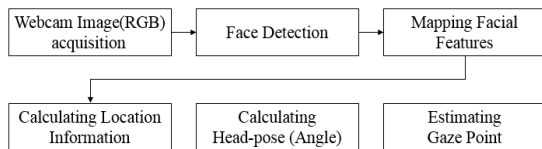


Fig. 3 The process of calculating the target point of user's gaze

먼저, 대상자로부터 일정 거리에 위치한 카메라로부터 사용자의 이미지 데이터를 입력 받은 후, 사용자의 얼굴을 검출하고 얼굴의 특징점을 맵핑한다. 그런 다음, 특징점의 3차원 형성정보로부터 직교카메라 투영을 통해서 대상의 헤드 포즈 각도를 추정하게 되며, Michal Tölgyessy[10]이 제안한 기하학적 수학 모델을 기반으로 이미지 내 각도 정보와 카메라와 사용자 간 기하학적 형상 정보를 수식 (1), (2)에 적용하여 상호작용 공간 내 대상자의 응시점을 추정하게 된다(그림 4 참조).

$$S = -\frac{nw}{v} \tag{1}$$

$$v = w + uS \tag{2}$$

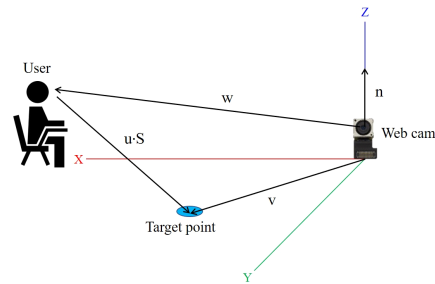


Fig. 4 Geometric configuration for estimating the target point

다음으로, 탁상 로봇은 로봇 위치를 기준으로 공간 내 응시점에 대한 팬틸트 각도를 추출하여 구동함으로써 최종적으로 사용자의 목표 응시점을 로봇이 같이 응시하는 것으로 공동 주의 훈련을 완성하게 된다. 저자의 이전연구[11]에서는 로봇의 응시점 정밀도와 관련한 구체적인 내용 및 연구결과를 제시하고 있다.

3.3. 생체 신호 분석

공동 주의 훈련 자극에 대한 신경계 반응은 생체신호 측정과 데이터 분석기법을 통해 그 긴장 정도를 추정하게 된다(그림 5 참조).

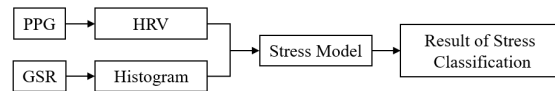


Fig. 5 Architecture for stress classification of training stimuli

먼저, 생체 신호는 스트레스와 같은 외부자극에 대한 인체의 교감신경, 부교감신경의 활동 양상 등 자율신경계 반응과 신체 조절 능력의 측정이 가능하며, ECG (Electrocardiogram), PPG(Photoplethysmography), GSR (Galvanic skin response) 등이 주로 사용된다. 여기서, PPG는 피부 말단에 적외선을 쏘아 혈관의 말초 혈류량의 변화를 알 수 있는 생리 지표로 교감신경계 활동과 밀접한 관련성을 가진다. GSR은 피부 땀샘의 전기저항을 측정하는 센서로 심리적인 불안함과 감정적인 자극으로부터 교감신경계 각성에 민감하게 반응하는 지표이다[12].

일반적으로, PPG 센서로부터 추출한 데이터는 교감신경계와 부교감신경계의 활동을 반영하는 HRV(Heart Rate Variability) 분석법을 사용하며, 시계열 및 주파수 영역에서 총 10 개의 지표를 통해 스트레스, 만성피로 등의 특성을 파악하게 된다.

본 연구에서는 HRV의 여러 가지 분석 기법 중 5분 내외의 단기적인 측정에서 생체신호의 변화를 설명하기에 적합한 분석법인 시계열 영역의 BPM(Beats per Minute)과 주파수 영역에서 0.04~0.15Hz 대역의 교감신경계 활동 지표를 나타내는 LF(Low Frequency) 데이터를 특정하여 추출한다[13]. 이는 인간의 불안 혹은 긴장 상태가 교감신경계를 활성화시켜 BPM과 LF의 증가로 이어지는 특성을 가지기 때문이다. 뿐만 아니라, GSR 센서로부터 추출한 데이터는 사용자의 감정 변화에 따라 피부전기저항이 감소하는 특성을 반영하기 위해 히스토그램 기법과 변화량의 평균으로 분석되도록 구성한다.

추출된 생체신호로부터 각각 분석된 결과는 가중치 적용 연산 함수에 따라 정량적 수치를 최대화하게 되며 최종적으로 수식(3)에 의해 스트레스 상태에 대한 분류가 명확해진다.

$$GSR \times \alpha + LF \times \beta + BPM \times \gamma \quad (3)$$

여기서 각 지표 별 가중치 변수이며, 그 값은 0.3, 0.4, 0.3으로 구성된다.

3.4. 공동 주의 훈련용 콘텐츠

공동 주의의 사회적 훈련 자극을 생성하기 위한 로봇 시스템 구성은 다음과 같다. 먼저, 로봇은 행동 중재의 교시자로 사회적 훈련에 참가하는 사용자와 일정거리

를 두고 눈 맞춤과 공동 주의를 수행하기 위해 탁상 거치 타입으로 팬틸딩 기능을 수행하는 로봇 기구부와 그 앞에 사용자 터치 가능한 모니터가 위치하게 된다. 그런 다음, 로봇과 사용자 사이에 공동 주의 수행을 위한 3종의 훈련 자극용 콘텐츠가 사용자에게 제공된다(그림 6 참조).

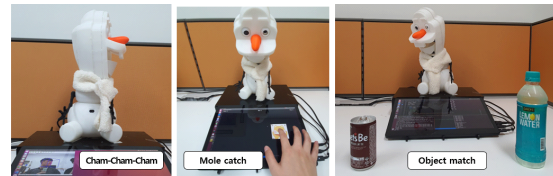


Fig. 6 Composition of training contents that induce user response of tension and attention

콘텐츠 A는 ‘참참참’ 게임의 형태이며, 로봇이 ‘참참참’ 구호와 함께 사용자가 헤드 포즈를 특정 방향(좌,우)을 가리키는 훈련자극으로 사용자와 로봇의 응시가 서로 다른 방향일 경우 성공으로, 같은 방향으로 향할 경우 실패로 간주하게 된다. 콘텐츠 B는 ‘두더지 잡기’ 게임의 형태로써, 로봇과 사용자 사이의 평면에 위치하는 터치스크린에 일정 크기의 두더지를 짧은 시간 동안 표시하고, 시간이 경과하면 다른 위치로 이동하여 표시하는 방식으로 사용자가 콘텐츠 응시 집중 여부와 터치반응으로 긴장과 집중의 반응 정도를 측정한다. 콘텐츠 C는 ‘물건 맞추기’ 게임의 형태로 구성되며, 사용자와 로봇 사이 탁상 평면에 사용자를 기준으로 중앙, 좌측, 우측 방향으로 일정 각도를 가지는 위치에 특정 물체를 배치한 후, 서로 마주보면서 게임 규칙을 설명하고, 로봇이 물건을 헤드 포즈로 가리키면 사용자가 대상 물체를 응시하는 방식으로 콘텐츠를 구성하였다. 여기서, 응시의 반응속도가 심리적으로 집중지표와 연관성을 가지는 연구내용[14]을 토대로 일정수준의 응시 반응 속도를 가지는 대상자에 대한 긴장의 지표를 정량화하고자 하였고, 그 기준을 2초 이내로 설정하였다.

구성된 3종의 콘텐츠 모두 DTT 프로토콜에 따라 순차적으로 사용자에게 훈련 자극으로 제시되며, 사용자의 즉각적인 응시반응성과 지속성에 따른 긴장과 집중의 심리적인 상태를 추정하는데 이용된다.

IV. 실험 결과

DTT 프로토콜을 기반으로 공동 주의 훈련 자극을 제시하고 사용자의 자극 반응에 대한 상태 추정을 위한 실험 구성은 그림 7과 같다.

먼저, 캐릭터 형태의 로봇 외형은 헤드부의 팬틸트 구동을 통해 특정 방향으로 응시가 가능하며, 입모양 기구부는 로봇이 발화하는 시간 동안 립리딩(Lip-reading)이 구동된다. 로봇 플랫폼 앞에 장착된 웹캠은 실험 참가자의 헤드 응시 각도에 사용되며, 로봇 플랫폼의 눈에 장착된 웹캠은 로봇이 응시하는 물체를 모니터링하기 위한 용도로 사용된다. 로봇의 음성합성(TTS: Text To Speech)과 음성인식(Speech Recognizer)은 구글 클라우드 플랫폼을 이용하여 공동 주의 훈련 콘텐츠 수행에 필요한 대화 모델을 구축하였고, 사용자의 생체신호를 측정하기 위해 Laxtha의 Ubpulse H3와 GSR glove 센서를 착용하도록 구성하였다.



Fig. 7 Experimental setup for estimating the user's psychological state using a robot

공동 주의 사회성 훈련은 사용자와 친밀감을 형성한 이후 DTT 프로토콜에 따라 3종의 콘텐츠를 순차적으로 제공하고 사용자의 자극 반응을 인식하도록 프로세서를 설계하였다.

총 10명의 일반인을 대상으로 로봇을 이용하여 각 콘텐츠 별 3회의 자극을 제시하고 응시 반응 결과를 측정하였다. 그리고 각 훈련 자극 콘텐츠를 수행하기에 앞서 1분의 대기시간을 두어 이전 훈련 자극으로부터 유발되는 영향을 최대한 배제하였다.

4.1. 긴장 측정 실험

그림 8은 사용자의 긴장된 반응상태의 정량적 측정을 위해 훈련 자극을 제공한 후 PPG신호를 HRV를 통해 반응 행동을 분석한 LF와 BPM지표의 결과이다. LF는 대기 상태를 기준으로 stress_low와 stress_high의 상태에 대해 각각 11.1%, 19.7% 증가하였으며, BPM은 대기 상태에 비해 stress_low와 stress_high의 상태로 각각 7.9%, 10.9%씩 증가하였다. 뿐만 아니라, stress_high는 stress_low에 비해 LF는 7.7%, BPM은 2.7% 높은 실험 결과로부터 LF와 BPM 지표로 사용자의 심리적인 긴장 반응 상태를 구분할 수 있으며, 스트레스 강도에 대해서도 정량화 가능성을 확인하였다.

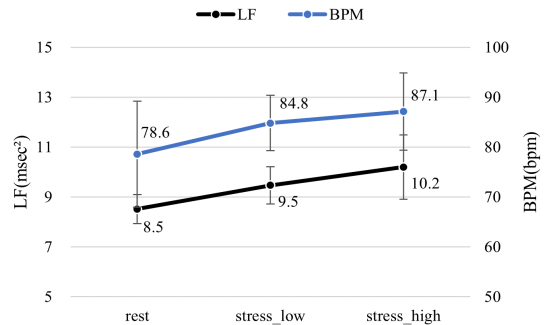


Fig. 8 Experimental result for training stimulus: LF, BPM data

그림 9는 사용자의 반응 행동 상황에서 GSR 신호를 분석한 결과이다. HRV 분석결과와 동일하게 스트레스 반응을 보이는 시점에 GSR 신호 값의 크기가 유의미하게 증가하며, stress_low와 stress_high로 구분되는 상태에서도 평균적으로 14.8%의 차이값을 보여주고 있다. GSR 신호의 히스토그램 분석을 통하여 스트레스의 상태와 그 단계를 정량화 할 수 있음을 확인하였다.

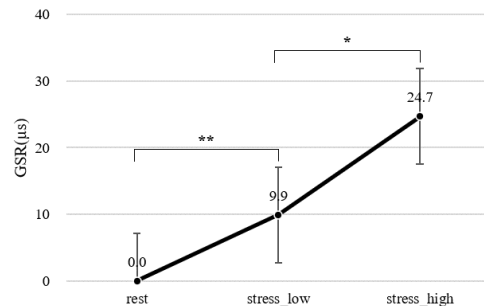


Fig. 9 Experimental result for training stimulus: GSR data

그림 10은 공동 주의 훈련 자극 콘텐츠 수행에 따른 사용자의 생체신호 측정값의 평균과 표준편차를 나타낸다. 대기 상태에서 훈련 자극의 행동 반응을 측정할 결과로 BPM은 14.2%, LF은 19%, GSR은 1%씩 평균적으로 증가함으로써, 생체신호 분석을 통해 대기 상태를 기준으로 자극 상태가 평균적으로 11.4% 높은 유의미한 차이를 보여주고 있다. 하지만, 실험 참가자의 정서적 불안이나 공포심을 유발하는 콘텐츠 구성이 아니기 때문에, 여기에 민감하게 반응하는 GSR의 측정값 변화가 BPM과 LF 지표에 비해 상대적인 수치가 낮게 표시되는 것으로 판단된다.

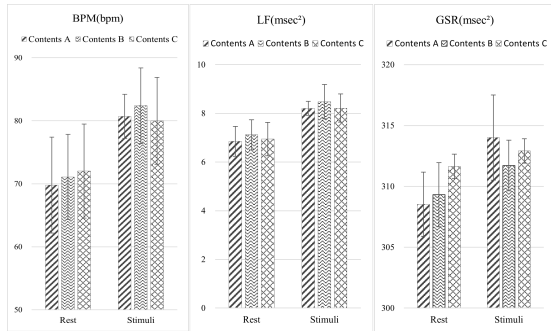


Fig. 10 Experimental results on bio-signal analysis for content stimuli

공동 주의 훈련 자극 반응을 콘텐츠 별로 비교하면, 대기 상태에서 훈련 자극 수행 시 평균적으로 수치가 Contents A에서 12.4%, Contents B는 11.9%, Contents C는 9.9% 증가한다. 이는 Contents A와 Contents B는 공동 주의를 수행하기 위한 트리거로 인해 단발적인 긴장 심리를 조성할 수 있었으나, Contents C는 단순 반복적이어서 실험 참가자를 대상으로 긴장 심리와 지속적인 공동 주의를 유지하는 데 한계가 있음을 유추할 수 있다.

4.2. 집중도 측정 실험

그림 11은 로봇에 의해 교시되는 공동 주의 훈련 콘텐츠 수행 요구에 실험 참가자의 응시 반응 속도를 히스토그램과 정규분포로 나타낸 결과이다. 실험에 참가한 전체 사용자의 77%가 3종의 콘텐츠 수행 요구에 2초 이내 응시 반응함으로써, 긴장감을 요구하는 공동 주의 훈련 자극에 참가자들이 신속히 응시 반응함을 확인하였고, 이를 통해 행동중재 프로세스 구성에 필요한 공동 주의

훈련용 콘텐츠가 적절하게 구성된 것으로 판단된다.

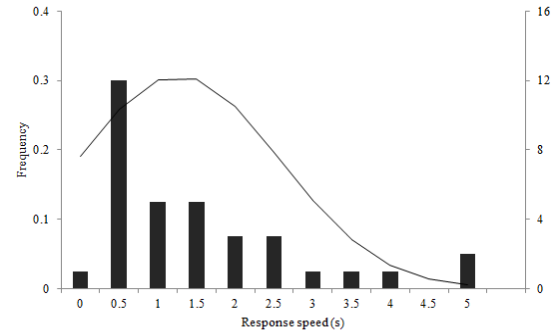


Fig. 11 Histogram with normal distribution graph for response rate

4.3. 긴장-집중도 상관관계 분석

그림 12는 로봇 활용 훈련 자극 콘텐츠 실험을 통해 사용자 반응상태에서 분석된 생체신호 변화량과 응시 반응의 시간에 대해 긴장과 집중의 지표로 주기별 상관관계를 분석한 결과이다.

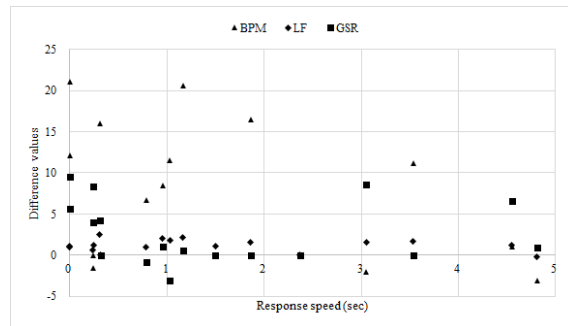


Fig. 12 Correlation analysis for tension and attention indicators

BMP, SNS, GSR 지표의 생체신호 분석을 통한 긴장의 분포와 응시 반응속도의 시간 분포가 일정 부분에서 상반되는 결과로부터 실험 참가자가 제공되는 공동 주의 훈련 콘텐츠에 신속한 응시반응 하는 경우 신경계의 긴장도가 상대적으로 높아짐을 확인하였다. 이번 실험 분석결과로부터 긴장-집중의 상관관계가 명확한 지표로 구분하기에는 한계점이 있으나, 3가지 신경계 분석지표 중 하나인 BPM이 실제 사용자의 심리적 긴장상태를 정량적으로 분류할 수 있는 가능성이 있다고 판단된다.

V. 결론

본 연구는 사회적 상호작용 훈련을 통한 사용자의 응시반응 상태를 추정하는 프로세스를 제안하였다. 공동 주의 훈련을 DTT 프로토콜에 적용하여 행동중재 시스템을 구축하였고, 상호작용 대상자 역할 및 교시를 위해 응시제어가 가능한 탁상 로봇을 개발하였다.

응시반응을 유발하는 3종의 콘텐츠를 이용하여 훈련 자극 콘텐츠를 구성하고, 비전 및 생체신호 분석으로부터 사용자의 응시행동 반응과 자율신경 반응에 대한 실험 및 상관관계에 대한 분석을 수행하였다. 그리고, 공동 주의 훈련에 대한 각 콘텐츠 별 실험으로부터 사용자의 반응상태 분류 가능성을 확인하였다.

하지만, 친근한 이미지의 로봇을 활용한 훈련 콘텐츠로부터 사용자에게 긴장의 자극을 높이는 부분에 대한 제약사항, 짧은 시간 생체신호 측정으로부터 신경계 반응을 세분화하는 데에는 분명 한계가 있었다.

제안한 훈련중재 프로토콜 역시 자폐아동을 대상으로 하고 있어서, 공동 주의 훈련기술과 관련한 보다 다양하고 체계적인 프로토콜 구성과 기능보완, 그리고 자폐아동이 참가하는 실험을 통하여 사용자의 행동반응상태의 효용성을 높이는 추가적인 연구를 진행할 계획이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. NRF-2021R1F1A1063669).

REFERENCES

- [1] Centers for Disease Control and Prevention [Internet]. Available: <https://www.cdc.gov/ncbddd/autism/facts.html>.
- [2] E. Y. Choi, "Literature Review of Robots Used for the Rehabilitation of Children with Autistic Spectrum Disorder," *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 265-273, 2015.
- [3] S. Kim and Y. Ko, "Analysis of robot research and development cases used for treatment and social adaptation of children with autism spectrum disorder," *Journal of Integrated Design Research*, vol. 16, no. 4, pp. 21-32, 2017.
- [4] H. Kozima, M. P. Michalowski, and C. Nakagawa, "Keepon," *International Journal of Social Robotics*, vol. 1, pp. 3-18, 2009.
- [5] I. Berk-Smeekens, M. Korte, M. Dongen-Boomsma, I. Oosterling, J. Boer, E. Barakova, T. Lourens, J. Glennon, W. Staal, and J. K. Buitelaar, "Pivotal Response Treatment with and without robot-assistance for children with autism: a randomized controlled trial," *European Child & Adolescent Psychiatry*, pp. 1-13, 2021.
- [6] J. G. Lee, B. H. Lee, J. S. Jung, and J. Y. Kwon, "Robot design and action study for the treatment of autistic spectrum disorders children," *Journal of Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers*, vol. 20, no. 2, pp. 196-199, 2016.
- [7] S. S. Yun, H. Kim, J. Choi, and S. K. Park, "A robotic system with behavioral intervention facilitating eye contact and facial emotion recognition of children with autism spectrum disorders," *Journal of Korea Robotics Society*, vol. 10, no. 2, pp. 61-69, 2015.
- [8] S. Lee, K. Hong, and S. Y. Kang, "A review of studies on discrete trail teaching(DTT) for children with autism spectrum disorders: Based on the intervention outcome and the staff variable," *Journal of Emotional and Behavioral Disorders*, vol. 28, no. 3, pp. 523-549, 2012.
- [9] P. Mundy, M. Sigman, J. Ungerer, and T. Sherman, "Defining the social deficits of autism: The contribution of non-verbal communication measures," *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, vol. 27, pp. 657-669, 1986.
- [10] M. Tölgyessy, M. Dekan, F. Duchoň, J. Rodina, P. Hubinský, and L. U. Chovanec, "Foundations of visual linear human - robot interaction via pointing gesture navigation," *International Journal of Social Robotics*, vol. 9, no. 4, pp. 509-523, 2017.
- [11] D. Y. Kim, H. K. Eom, and S. S. Yun, "Design of head robot understanding human Pose," in *Proceedings of 2020 Fall Conference of ESK*, pp. 330-333, Oct. 2020.
- [12] A. Arcentales, R. Daniel, C. Betancourt, I. Yépez, D. Alulema, and A. V. Guamán, "A multivariate signal analysis of a sensing platform prototype for stress detection," in *Proceedings of International Conference on Intelligent Information Technology*, pp. 63-77, 2020.
- [13] B. Kim and J. Min, *Use and Interpretation of HRV in Stress Clinics*, Panmun Education, 2015.

- [14] J. P. Parsons, R. Bedford, E. J. H. Jones, T. Charman, M. H. Johnson, and T. Gliga, "Gaze following and attention to objects in infants at familial risk for ASD," *Frontiers in Psychology*, vol. 10, pp. 1799, 2019.



김다영(Da-Young Kim)

신라대학교 기계공학과 공학사
한국로봇융합연구원 인터랙티브연구본부 연구원
※관심분야: HRI, 휴먼 인식



윤상석(Sang-Seok Yun)

고려대학교 기계공학과 공학박사
한국과학기술연구원 지능로봇연구단 포닥
신라대학교 융합기계공학부 조교수
※관심분야: 소셜로봇, HRI, LBS, 지능제어 시스템