

긍정감정을 유도하기 위한 모방학습을 이용한 상호작용 시스템 프로토타입 개발

오찬해*, 강창구**

Development of An Interactive System Prototype Using Imitation Learning to Induce Positive Emotion

Chanhae Oh*, Changgu Kang**

요약 컴퓨터 그래픽스 및 HCI 분야에서 캐릭터를 만들고 자연스럽게 상호작용하는 시스템에 관한 많은 연구가 있었다. 이와 같은 연구들은 사용자의 행동에 대한 반응에 중점을 두었으며, 사용자에게 긍정적 감정을 끌어내기 위한 캐릭터의 행동 연구는 여전히 어려운 문제로 남아있다. 본 논문에서는 인공지능 기술을 이용하여 가상 캐릭터의 움직임에 따른 사용자의 긍정적 감정을 끌어내기 위한 상호작용 시스템 프로토타입을 개발한다. 제안된 시스템은 표정 인식과 가상 캐릭터의 동작 생성으로 구분된다. 표정 인식을 위해 깊이 카메라를 사용하며 인식된 사용자의 표정 데이터는 동작 생성으로 전달된다. 우리는 개인화된 상호작용 시스템 개발을 위하여 학습모델로서 모방학습을 사용한다. 동작 생성에서는 최초 사용자의 표정 데이터에 따라 무작위 행동을 수행하고 지속적인 모방학습을 통하여 사용자가 긍정적 감정을 끌어낼 수 있는 행동을 학습한다.

Abstract In the field of computer graphics and HCI, there are many studies on systems that create characters and interact naturally. Such studies have focused on the user's response to the user's behavior, and the study of the character's behavior to elicit positive emotions from the user remains a difficult problem. In this paper, we develop a prototype of an interaction system to elicit positive emotions from users according to the movement of virtual characters using artificial intelligence technology. The proposed system is divided into face recognition and motion generation of a virtual character. A depth camera is used for face recognition, and the recognized data is transferred to motion generation. We use imitation learning as a learning model. In motion generation, random actions are performed according to the first user's facial expression data, and actions that the user can elicit positive emotions are learned through continuous imitation learning.

Key Words : Artificial intelligence(AI), Face Recognition, Imitation Learning, Interaction System, Reinforce Learning

1. 서론

컴퓨터 그래픽스 및 HCI 분야에서 사실적인 가상 또는 물리적 캐릭터를 만들고 자연스럽게 상호작용하는 시스템에 관한 많은 연구가 있었다. 이와 같은 연구

들은 사용자의 행동에 대한 반응에 중점을 두었으며, 사용자에게 긍정적 감정을 끌어내기 위한 캐릭터의 행동 연구는 여전히 어려운 문제로 남아있다[1]. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 사용자의 감정을 정확히 판단하고 감정에 따라 적합한 행동을 결정할 수 있는 학

This work was supported by Gyeongsang National University Grant in 2020~2021.

*SK Inc. C&C

**Corresponding Author : School of Computer Engineering, Gyeongsang National University, (cgk@gnu.ac.kr)

Received August 03, 2021

Revised August 04, 2021

Accepted August 13, 2021

습 기반의 인공지능이 필요하다[2].

4차 산업 혁명의 관심도가 높아짐에 따라 가상/증강현실, 인공지능, 드론 등의 기술들로 이루어진 장비 및 콘텐츠들이 다양한 형태로 융합되고 새로 만들어지고 있다. 그중 인공지능은 분야와 상관없이 많은 사용자의 실생활에 접목해 다양한 형태로 발전되고 있다[3][4]. 최근 인공지능 기술을 활용하여 사용자의 정서적 안정 및 편의를 제공하는 응용소프트웨어 개발이 다수 이루어지고 있다[5][6]. 이와 같은 응용소프트웨어에는 동화상으로 들어오는 사진에서 얼굴과 표정을 인식하는 방법을 사용하고 있으며, 즉각적으로 인공지능의 행동을 만들어낼 수 있다.

본 논문에서는 이러한 인공지능 기술과 가상 캐릭터를 이용하여 캐릭터의 움직임에 따른 사용자의 긍정적 감정을 끌어내기 위한 상호작용 시스템 프로토타입을 개발한다. 본 시스템에서는 캐릭터의 움직임에 앞서 사용자의 감정을 인식 기술이 필요하다. 하지만 우리는 사용자의 감정인식이 제안된 시스템의 초점이 아니므로 간단하게 표정 인식으로 감정을 판단한다. 제안된 시스템은 표정 인식과 가상 캐릭터의 동작 생성으로 구분된다. 표정 인식을 위해 깊이 카메라를 사용하여 인식된 사용자의 표정 데이터는 동작 생성으로 전달된다. 우리는 개인화된 상호작용 시스템 개발을 위하여 학습모델로서 모방학습을 사용한다. 동작 생성에서는 최초 사용자의 표정 데이터에 따라 무작위 행동을 수행하고 지속적인 모방학습을 통하여 사용자가 긍정적 감정을 끌어낼 수 있는 행동을 학습한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 본 연구의 배경과 목적에 관해서 설명하고, 2장에서는 관련 연구로서 인공지능을 이용한 상호작용 캐릭터 및 물리적 장치에 관하여 언급한다. 3장에서는 상호작용 시스템 프로토타입의 설계 및 구현에 관해서 설명하고, 4장에서는 논문의 결론을 짓는다.

2. 관련연구

사용자에게 긍정적인 반응을 얻어내기 위한 연구는 채팅이나 색의 변화와 같은 피드백을 통하여 사용자의 편의를 증진시켜 주고 있다.

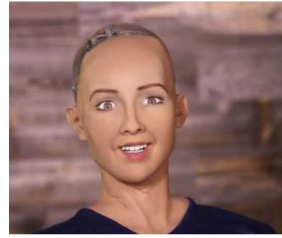


그림 1. 지능형 로봇 소피아

Fig. 1. Intelligent robot Sophia

그림 1은 딥러닝을 활용하여 감정표현을 만들며, 대화가 가능한 지능형 로봇이다[7]. 지능형 로봇 소피아는 사용자와 질의응답을 통하여 피드백을 준다. 지능형 로봇 소피아를 제작한 목적은 로봇과 인간과의 상호작용이지만, 긍정적 감정을 유도하는 목적이 아니며 딥러닝을 통해 해석하고 생성된 내용만을 말하므로, 사용자의 긍정적 반응을 유도하기 어렵다.

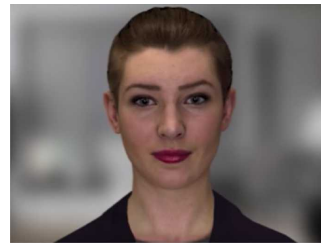


그림 2. 챗봇 나디아

Fig. 2. Chatbot Nadia

그림 2는 뉴질랜드의 인공지능 기업 소울머신즈(Soul-Machines)에서 개발된 사람과 감정을 소통하며 대화할 수 있는 챗봇 '나디아'이다[8]. 장애인을 대상으로 제작 되었으며 실제 로봇이 아닌 컴퓨터 그래픽스를 통하여 사용자와 대화를 나눌 수 있다. 음성으로 대화를 나눌 수 있으며 사용자의 표정과 목소리 톤 등을 근거로 피드백을 제공한다. 챗봇 '나디아'는 기존의 텍스트만을 근거로 하던 챗봇의 한계점을 넘었지만, 여전히 행동이나 제스처에 대한 피드백이 존재하지 않으며 텍스트를 통한 피드백만을 제공하고 있다.

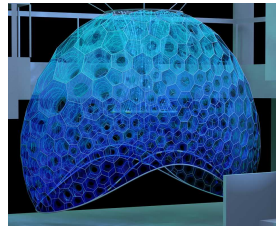


그림 3. 마이크로소프트사의 아다
Fig. 3. Microsoft Ada

그림 3은 미국 워싱턴 캠퍼스 빌딩 99 로비에 설치된 인공지능을 활용한 마이크로소프트사의 감정표현 피드백 구조물이다[9]. 직원들의 표정 변화가 적거나 낮은 목소리 톤을 감지하면 부정적 요소로 인식하여 어두운색으로 변하고, 반대로 웃는 표정과 높은 목소리 톤을 감지하면 더 밝은색으로 변화한다. 직원들의 분위기를 판단하는 측면에서는 유용할 수 있으나 ‘긍정과 부정’ 이분법적 피드백만으로 사용자의 기분을 긍정적 반응을 유도하기는 어렵다. 사용자의 긍정적 반응을 유도하기 위해서는 다양한 종류의 피드백이 필요하다.



그림 4. 삼성의 불이
Fig. 4. Samsung Ballie

그림 4는 삼성이 CES 2020에서 선보인 지능형 동반자 로봇 ‘불리’로, 카메라가 탑재되어 사용자를 인식한 후 모션에 따라 이동방식을 결정한다[10]. 사용자의 이동속도와 거리를 유지하며 맞춰서 이동하고, 손을 내밀며 앉으면 손으로 이동하며 가전과 연결되어 사용자의 명령을 인식하여 컨트롤한다. 이러한 기능들은 사용자의 편의를 증진시킬 수 있지만, 사람과의 대화나 감정해석의 목적으로 활용될 수 없다.

이와같이 상호작용 캐릭터 및 물리적 장치에 대한 개발은 컴퓨터 그래픽스, 인공지능, 표정 인식 기술 등을 이용하여 계속되어 왔다. 하지만 앞서 언급된 연구에는 사용자의 행동이나 표정에 대한 해석과 적합한 반응에 중점을 두었으며, 사용자에게 대한 생각이나 기분 변화를 유도하는 목적에는 한계가 있다.

제안된 시스템은 사용자의 표정에 따라 반응하며 웃는 표정을 유도하기 위한 상호작용 캐릭터를 포함하며, 사용자 표정에 따른 캐릭터 행동의 변화로 사용자의 기분을 긍정적인 방향으로 끌어내기 위한 목적에 있다.

3. 상호작용 시스템 프로토타입 설계 및 개발

본 장에서는 시스템 프로토타입 설계 및 구현에 관하여 기술한다. 3.1에서는 제안된 시스템의 구성과 동작에 대해서 간략하게 언급하고, 3.2에서는 표정 인식과 동작을 위해 구현된 내용을 기술한다. 그리고 3.3에는 시스템에서 사용된 모방학습에 관해 설명하고, 3.4에서는 시스템에서 사용된 가상 콘텐츠의 행동에 관해 설명한다.

3.1 시스템 구성

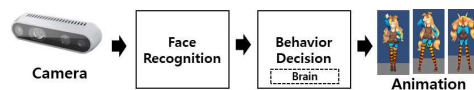


그림 5. 시스템 구성
Fig. 5. System configuration

제안된 시스템은 표정 인식과 행동 결정으로 구성된다. 카메라를 통해 입력되는 이미지에서 사람을 감지하고 인식된 사람으로부터 표정을 인식한다. 이후 사람의 표정에 따라 모방학습을 이용하여 캐릭터의 행동을 결정하게 된다. 그림 6는 상호작용 시스템이 실행된 화면을 보여준다. 시스템에는 카메라 영상화면과 인식된 사람의 표정을 캐릭터 이미지로 보여준다.



그림 6. 상호작용 시스템의 화면
Fig. 6. Interactive system screen

3.2 표정 인식

제안된 시스템 프로토타입에서는 사용자의 감정을 화남, 놀람, 보통, 즐거움 총 4가지 감정으로 분류한다. 감정을 알아내기 위해서는 먼저 사용자의 표정 정보를 획득해야 되며, 이를 위해 깊이 카메라(intel realsense d435i)와 표정인식 라이브러리 NuiTrack SDK를 사용하였다[11]. 사용자 감정의 오차를 줄이기 위해서 과거 인식된 값들을 포함한 평균값으로 현재의 감정을 판단하게 된다. 과거 250개의 이미지에 대한 인식 값들을 저장장소(감정 스택)에 담고 250개의 평균값으로 현재의 감정을 판단하였다. 그림 7은 표정 분류 후 현재 감정 도출 과정을 보여준다.

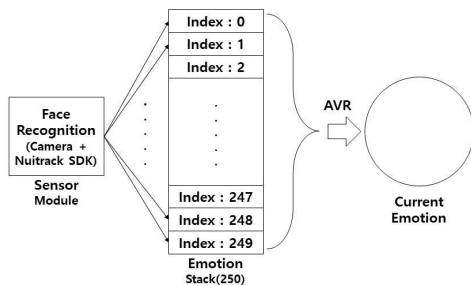


그림 7. 현재 감정 도출 과정
Fig. 7. The process of calculating current emotions

그림 6과 같이 표정 인식 모듈을 통하여 인식된 값들은 인덱스를 지닌 감정스택에 각각 저장된다. 감정스택에 저장된 각 값들은 “화남(Angry)”, “놀람(Surprise)”, “보통(Natural)”, “즐거움(Happy)” 과 사용자의 표정이 인식되지 않음을 나타내는 “비어있음(Empty)” 까지 5가지 값을 가진다. 표 1은 각 감정 상

태에 따른 대응되는 값들을 나타낸다.

표 1. 감정 상태에 대응되는 값
Table 1. Values corresponding to emotional states

Value	State
0	Empty
1	Angry
2	Surprise
3	Natural
4	Happy

감정스택에 저장된 250개의 값들은 다음과 같이 평균 값(*Current Emotion*)으로 간단하게 현재 감정을 판단하게 된다.

$$Current\ Emotion = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i$$

현재 감정은 3.3에서 설명할 모방학습의 입력값으로 이용한다.

3.3 모방학습

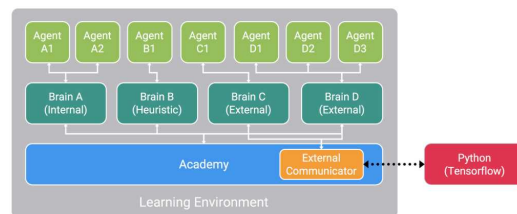


그림 8. ML-Agents의 학습환경: 아카데미, 브레인, 에이전트 3가지로 구성됨.

Fig. 8. Learning environment of ML-Agent: Academy, Brain, and Agent

제안된 시스템은 유니티를 이용하여 개발되었으며, 유니티에서 제공되는 ML-Agents를 시스템의 학습기로 사용하였다[12]. 이번 단락에서는 시스템에서 사용된 ML-Agents에 대해 간단히 설명하고, ML-Agents를 이용한 본 시스템의 학습방법에 대해 기술한다.

ML-Agents의 학습과정은 강화학습을 이용하고 있으며, PPO(Proximal Policy Optimization[13])을 이용하여 학습을 수행한다. 그림 8과 같이 ML-Agents의 학습환경은 아카데미, 브레인, 그리고

에이전트 3가지로 구성하고 있다. 아카데미는 학습환경의 설정과 파이썬 인공지능 라이브러리(tensorflow)를 연결한다. 아카데미는 여러개의 브레인 포함할 수 있으며, 학습구간을 에피소드 단위로 관리할 수 있도록 한다.

브레인은 학습모델을 설정하고 행동을 결정하는 객체이다. 즉, 브레인은 연결된 에이전트가 어떤 행동을 취할지 결정하는 역할을 수행한다. 브레인에는 3개의 세부 브레인으로 구성되며, 각 브레인의 특징은 다음과 같다.

- 참가자 브레인(Player Brain): 사용자의 입력을 통해 행동을 결정
- 경험적 브레인(Heuristic Brain): 직접 코딩한 동작을 기반으로 행동을 결정
- 학습 브레인(Learning Brain): 외부 파이썬 API를 통하여 행동을 결정

제한된 시스템에서는 개인화된 가상 캐릭터의 움직임을 보여주기 위하여 모방학습의 사용하였으며, 이를 위하여 참가자 브레인을 선택하고 ML-Agent s의 녹화기능을 이용하여 직접 입력한 행동과 보상을 기록하였다.

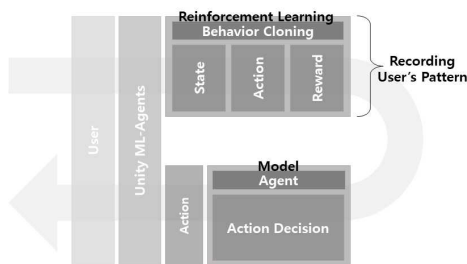


그림 9. ML-Agents의 모방학습을 이용한 학습과 행동 결정 과정
 Fig. 9. Learning and behavior decision process using imitation learning of ML-Agents

그림 9는 제안된 시스템에서 사용된 모방학습과 행동결정 과정을 보여준다. 보편적으로 사람의 표정은 상황에 따라 자신의 감정과 다른 표정을 짓기도 한다.

따라서 사용자의 감정을 정확히 인식하기 위해서는 상황에 따라 표정을 이해할 수 있어야 한다. 그러나 제한된 시스템의 환경은 실험적이고 제한적이므로 표정만으로 사용자의 감정을 파악해야 한다. 이러한 제한적 환경과 사용자의 개인화된 에이전트를 만들기 위하여 사용자가 직접 행동과 보상을 입력하여 이를 에이전트 적용하는 모방학습을 사용하였다. 모방학습은 사용자가 직접 상황에 따른 표정의 변화를 학습시켜 비교적 빠르게 모델을 구성할 수 있다는 장점이 있다.

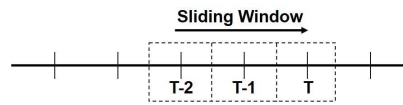


그림 10. 슬라이딩 윈도우를 이용한 사용자의 표정 관측
 Fig. 10. Observation of user's expression using sliding window

모방학습을 위하여 먼저 관측된 사용자의 표정과 에이전트가 결정할 수 있는 행동 간의 보상방법을 정의해야 한다. 우리는 에이전트의 행동을 모두 13가지로 정의하였으며, 앞서 언급된 5가지 감정 상태를 나타내는 각 표정과 보상관계를 다음과 같이 정의하였다. 그림 10은 슬라이딩 윈도우 방식을 이용한 사용자의 표정 관측에 대한 시점을 보여주며, 3가지 시점의 표정 관측 결과에 따라 보상 값을 정의하였다. 관측 데이터(O)는 [T]시점 표정($E_{(T)}$), [T-1]시점 표정($E_{(T-1)}$), [T-2]시점 표정($E_{(T-2)}$) 총 3개의 입력값을 관측하며, 표정에 대한 보상 값은 실험적으로 결정하였다.

3.4 캐릭터의 행동과 학습

제한된 시스템은 사용자의 표정에 따라 캐릭터의 행동으로 상호작용하며 캐릭터의 행동은 표정에 따라 2 ~ 5가지의 애니메이션이 반복되도록 수행된다. 이번 단락에서는 사용자의 각 표정들에 대한 캐릭터 행동의 학습과정을 설명한다.

1) 비어있음(Empty)

비어있음은 사용자 표정과 상관이 없이 화면에 사용자가 인식되지 않음을 표현하여, 그에 알맞은 행동을 결정할 수 있도록 유도한다. 비어있음이 인식됐을 때, 휴식과 관련된 행동(그림 11 (11)~(13))가 애니메이션 되도록 학습하였다.

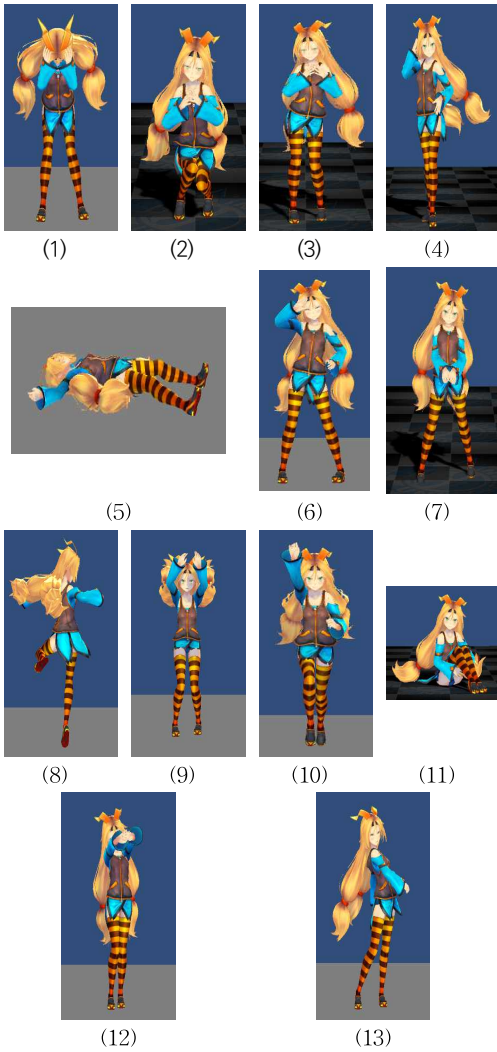


그림 11. 사용자 표정인식에 따른 캐릭터 행동
Fig. 11. Character's behaviors according to emotional states

2) 화남(Angry)

사용자의 화남이 인식하였을 때, 실험적으로 표 2와 같이 이전 시점에 따른 표정에 따른 보상 값을 각각 할당하였다. 표정 관측이 3번이상 지속적으로 화남 값이 인식되면 사용자의 감정 상태가 매우 좋지 않음으로 보상을 -0.1로 할당하였다. 화남에 대한 캐릭터의 반응행동은 그림 11의 (1), (2), (3), (5)가 연속적으로 애니메이션이 되도록 학습하였다.

표 2. “화남” 표정이 관측 될 경우의 보상값
Table 2. Reward when “Angry” expression is observed

Expression data from the previous time	Reward
Pleasure	-0.1
Natural	-0.1
Surprise	-0.1
Angry	-0.2

3) 놀람(Surprise)

사용자의 놀람이 인식하였을 때, 표3과 같이 이전 시점 표정에 따른 보상값을 각각 할당하였다. 만약 표정 흐름이 3번이상 지속적으로 “놀람” 이라면 보상값으로 -0.07로 할당함으로써 빠르게 새로운 캐릭터의 행동을 유도하도록 하였다. 인식된 “놀람”에 대한 캐릭터의 반응행동은 그림 11의 (4), (5)가 연속적으로 애니메이션이 되도록 학습하였다.

표 3. “놀람” 표정이 인식 될 경우의 보상값
Table 3. Reward when “Surprise” expression is observed

Expression data from the previous time	Reward
Pleasure	-0.05
Natural	-0.01
Surprise	-0.01
Angry	0.001

4) 보통(Natural)

사용자의 표정의 특색이 없을 때 “보통” 으로 인식된다. 보상값은 거의 변화가 없도록 표 4와 같이 할당하였으며 표정 흐름이 모두 자연스러운 표정이라면 피

드백이 멈추지 않도록 보상값을 -0.001로 지정하고 행동을 결정하도록 하였다. 인식된 “보통”에 대한 캐릭터의 반응행동은 그림 11의 (4), (10)가 연속적으로 애니메이션이 되도록 학습하였다.

표 4. “보통” 표정이 인식 될 경우의 보상값
Table 4. Reward when “Natural” expression is observed

Expression data from the previous time	Reward
Pleasure	-0.001
Natural	0.001
Surprise	0.01
Angry	0.01

5) 즐거움(Pleasure)

사용자의 웃는 표정을 인식하였을 때, “즐거움”으로 인식된다. 보상값은 표 5와 같이 가장 높게 할당하였으며 표정 흐름이 지속적으로 “즐거움”으로 인식되면 보상을 0.06로 지정하였다. 인식된 “즐거움”에 대한 캐릭터의 반응행동은 그림 11의 (6) - (10)가 연속적으로 애니메이션이 되도록 학습하였다.

표 5. “즐거움” 표정이 인식 될 경우의 보상값
Table 5. Reward when “Pleasure” expression is observed

Expression data from the previous time	Reward
Pleasure	0.1
Natural	0.2
Surprise	0.2
Angry	0.2

4. 결론

긍정적 감정을 도출해내는 콘텐츠는 여러 장르와의 융합을 통해 다양한 방향으로의 발전이 이루어지고 있다. 또한 과학 기술의 발달로 형태의 변화는 반복해서 일어나고 있으며, 사용자 감정을 긍정적으로 도출하는 형태의 콘텐츠 발달로 사용자들의 관심 또한 증가되고 있다.

본 논문에서는 인공지능 기술중 하나인 모방학습을

이용하여 사용자의 긍정적 감정을 도출하는 개인화된 상호작용 시스템 프로토타입을 개발하였다. 개발된 시스템 프로토타입을 이용하여 인식된 표정에 따른 보상값을 할당하고 학습을 수행하였다. 개발된 시스템은 프로토타입으로서 캐릭터의 행동이 제한적인 점과 사용자마다 학습을 수행해야 된다는 한계점을 가지고 있다. 추후 연구로서 캐릭터 행동의 다양화, 캐릭터의 행동에 따른 사용자의 감정변화에 대한 실험이 고려되고 있다. 또한 표정과 보상 값들의 관계는 시스템 프로토타입으로서 캐릭터의 행동을 유도하기 위해 임의로 할당된 값으로서 추후 실험을 통한 다양한 사용자에 대한 일반화된 보상값을 할당할 계획이다. 마지막으로 강화 학습 기반의 사용자 패턴을 다양하게 학습 시킬 수 있다면, 더욱 유용한 일반화된 시스템을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Barnabas Takacs, Klara Csizinszky, Daniele Mazzei, Lajos Simonl. “A psychological framework to objectively evaluate socially capable robots for interactive tutoring systems.” *15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*. IEEE, 2015.
- [2] Lisa FanMatthias Scheut , Monika Lohani, Marissa McCoy, Charlene Stokes. "Do we need emotionally intelligent artificial agents? First results of human perceptions of emotional intelligence in humans compared to robots." *International Conference on Intelligent Virtual Agents*. Springer, Cham, 2017.
- [3] Alemi, Omid, and Philippe Pasquier. "WalkNet: A neural-network-based interactive walking controller." *International Conference on Intelligent Virtual Agents*. Springer, Cham, 2017.
- [4] Iwan de Kok, Felix Hülsmann, Thomas Waltemate, Cornelia Frank, Julian Hough, Thies Pfeiffer, David Schlangen, Thomas Schack, Mario Botsch, Stefan Kopp, "The intelligent coaching space: a demonstration."

International Conference on Intelligent Virtual Agents. Springer, Cham, 2017.

- [5] Neto, Amyr Borges Fortes, Catherine Pelachaud, and Soraia Raupp Musse. "Giving emotional contagion ability to virtual agents in crowds." *International Conference on Intelligent Virtual Agents*. Springer, Cham, 2017.
- [6] David C. Jeong, Dan Feng, Nicole C. Krämer, Lynn C. Miller, Stacy Marsella, "Negative feedback in your face: examining the effects of proxemics and gender on learning." *International conference on intelligent virtual agents*. Springer, Cham, 2017.
- [7] Parviainen, Jaana, and Mark Coeckelbergh. "The political choreography of the Sophia robot: beyond robot rights and citizenship to political performances for the social robotics market." *AI & SOCIETY* (2020): 1-10.
- [8] Jason Wu, Sayan Ghosh, Mathieu Chollet, Steven Ly, Sharon Mozgai, Stefan Scherer, "Nadia: Neural network driven virtual human conversation agents." *Proceedings of the 18th International Conference on Intelligent Virtual Agents*. 2018.
- [9] Ada [Website]. (2019, 10, 11.) Retrieved from <https://www.microsoft.com/artist-in-residence/collaborations/ada/>
- [10] Samsung Ballie at CES 2020 [Website]. (2020. 07. 20.) Retrieved from <https://news.samsung.com/us/samsung-ballie-ces-2020/>
- [11] NUITRACK [computer software]
- [12] Arthur Juliani, Vincent-Pierre Berges, Ervin Teng, Andrew Cohen, Jonathan Harper, Chris Elion, Chris Goy, Yuan Gao, Hunter Henry, Marwan Mattar, Danny Lange, "Unity: A general platform for intelligent agents." arXiv preprint arXiv:1809.02627 (2018).
- [13] John Schulman, Filip Wolski, Prafulla Dhariwal, Alec Radford, Oleg Klimov, "Proximal policy optimization algorithms." arXiv preprint arXiv:1707.06347 (2017).

저자약력

오 찬 해(Chanhae Oh)



- * 2020년: 경남국립대학교 컴퓨터공학부 (학사)
- * 2021년 ~ 현재: SK(주) C&C 제조Solution Digital그룹 Digital실트론 Unit Manager

〈관심분야〉 컴퓨터 그래픽스, 데이터 엔지니어링, 딥러닝

강 창 구(Changgu Kang)

[정회원]



- * 2010년: 광주과학기술원 (공학석사)
- * 2017년: 광주과학기술원 (공학박사)
- * 2018년 ~ 현재: 경상국립대학교 컴퓨터공학부 조교수

〈관심분야〉 컴퓨터 그래픽스, 증강현실, 인공지능