

지능형 서비스 로봇을 위한 선형 동적 시스템 기반의 감정 기반 행동 결정 모델

Emotional Behavior Decision Model Based on Linear Dynamic System for Intelligent Service Robots

안 호 석*, 최 진 영
(Ho Seok Ahn and Jin Young Choi)

Abstract : This paper introduces an emotional behavior decision model based on linear system for intelligent service robots. An emotional model should make different behavior decisions according to the purpose of the robots. We propose an emotional behavior decision model which can change the character of intelligent service robots and make different behavior decisions although the situation and environment remain the same. We defined each emotional element such as reactive dynamics, internal dynamics, emotional dynamics, and behavior dynamics by state dynamic equations. The proposed system model is a linear dynamic system. If you want to add one external stimulus or behavior, you need to add just one dimensional vector to the matrix of external stimulus or behavior dynamics. The case of removing is same. The change of reactive dynamics, internal dynamics, emotional dynamics, and behavior dynamics also follows the same procedure. We implemented a cyber robot and an emotional head robot using 3D character for verifying the performance of the proposed emotional behavior decision model.

Keywords : emotional behavior decision model, linear dynamic systems, emotional intelligent service robot, head robot

I. 서론

서비스 로봇은 공장에서 사용하는 산업용 로봇과는 달리 사람과 같은 공간에서 함께 생활을 하면서 사람에게 도움을 주기 위한 로봇이다. 이를 위해서는 정확한 제어 기술뿐만 아니라 음성 인식, 영상 인식 등 사람과의 인터랙션을 위한 기술이 필요하다. 그리고 대화에서 기계적인 느낌을 줄이고 친근감을 느낄 수 있도록 감정 기반의 행동 및 대화가 필요하다. 이를 위하여 최근 많은 연구가 진행되고 있다.

감정 기반의 로봇 시스템을 위한 노력은 그림 1과 같이 사람과 주변 상황을 인식하는 감정 인식, 로봇이 감정을 느끼고 그에 따른 행동을 생성하는 감정 모델, 그리고 로봇 플랫폼에 따라 자연스럽게 행동하는 감정 표현에 대한 연구로 나눌 수 있다. 먼저 감정 인식 연구는 아직 높은 수준의 연구 결과가 나오지는 않았지만 여러 방향으로 연구를 진행하고 있다. 영상 처리를 기반으로 얼굴을 분석하는 방법[1-3]과 음성을 이용해 감정을 인식하는 방법[4-6]이 많이 이용되고 있다. 그리고 맥박 등의 생리적 신호를 이용해서 감정을 인식하는 연구도 진행 중이다[7,8].

감정 모델의 연구도 많이 진행되고 있다. Kshirsagar는 Five-Factor Model을 사용하여 감정을 가진 가상의 인간을 위한 성격을 가진 시스템을 개발했다[9]. Nakajima는 사람과 기계 사이의 효율적인 협업을 위한 감정 모델을 설계하였다[10]. Yingying은 멀티 로봇 시스템에서 충돌을 방지하는 감정 기반 시스템을 개발하였다[11]. Fumio Hara는 하모니(harmony)이

론을 이용하여 외부 자극을 입력으로 받아 내부 감정을 만들어 얼굴 표정으로 감정을 표현하는 인공 감정 모델을 설계하였다[12].

감정 표현의 연구는 감정 모델의 연구와 함께 이루어진 경우가 많다. MIT의 Breazeal은 얼굴로 감정 표현을 하는 Kismet이라는 로봇을 개발했다. 언어 대신 얼굴 표정과 목, 귀의 움직임으로 감정 및 의사를 전달한다[13]. 그리고 Kismet에 적용하기 위해 3차원의 감정 공간을 이용한 감정 모델을 설계했다. Miwa는 얼굴, 팔 및 몸을 움직임으로써 감정 표현을 하는 휴머노이드 로봇 WE-4RII를 개발했다[14]. Miwa도 사람과 로봇의 인터랙션을 위해 2차 미분 방정식을 도입한 감정 모델을 설계했다. University of Central Florida의 Lisetti는 실내 환경에서 사람들과 원활한 관계를 맺기 위해 Cherry라고 불리는 사이버 로봇을 개발했다[15]. 역시 감각 단계 - 도식 단계 - 개념 단계의 3단으로 구성된 감정 모델을 함께 연구했다.

로봇 연구자들은 얼굴, 팔, 다리 등 사람을 모방한 시스템에도 관심을 가지고 있다. 감정 시스템도 예외는 아니지만 다른 부분과는 다르게 사람의 감정 메커니즘은 수많은 뉴런으로 구성되어 있는 매우 복잡한 구조를 가지고 있기 때문에 모방하기 매우 어려운 분야이다. 지금까지 사람의 감정 메커니즘을 모방한 많은 감정 모델들이 제안되었으나 아직 간단한 수준에 머물고 있으며, 이는 감정 모델을 위해 더욱 많은 요소들을 고려해야 하기 때문이다. 새로운 요소를 고려하기 위해서 기존에 감정 모델에서 고려되었던 요소들과의 관계를 유지하고 연결해야 한다는 어려움이 있다. 이를 위하여 유찬우는 여러 가지 동기와 성격을 고려한 비선형 동적 시스템 기반의 감정 모델을 제안하였다[16]. 이 시스템은 직관적이기 때문에 설계 및 구현이 쉽다는 장점이 있지만 감정 요소를 추가할 경우 기존 연결을 고려해야 하는 문제는 아직

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 5. 15., 채택확정 : 2007. 6. 25.

안호석, 최진영 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부, 자동화시스템 공동연구소(ASRI)

(hsahn@neuro.snu.ac.kr/jychoi@snu.ac.kr)

※ 본 연구는 산업자원부의 인간과 로봇의 상호작용을 위한 감성행동 기능구현 과제와 두뇌한국21(BK21)의 지원을 받아 연구되었음.

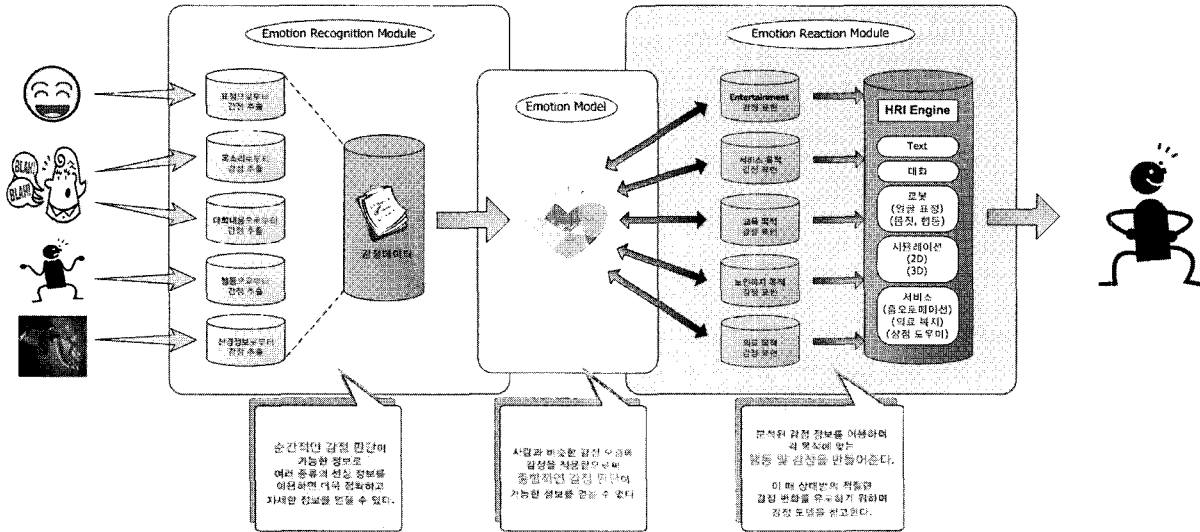


그림 1. 감정 기반의 서비스 로봇을 위한 인공 감정 프로세스.
 Fig. 1. The artificial emotion process for intelligent service robots based on emotion.

해결하지 못했다. 또한 직접적인 반응을 적용하지 못했기 때문에 갑작스러운 자극에 대해 반응을 할 수 없었다.

뿐만 아니라 감정 모델은 적용하는 서비스 로봇의 종류와 목적에 따라서 다른 결과를 만들 수 있어야 한다. 예를 들어, 엔터테인먼트 로봇인 AIBO[17]의 경우, 감정 모델은 사용자와 놀이를 중심으로 한 다양한 감정이 기반되어야 하기 때문에 친절함만 만 아니라 초조함이나 화남을 표현하는 것이 좋다. 하지만 안내 로봇[18,19]의 경우 지식의 전달이 목적이기 때문에 친절함은 표현해야 하지만 화남은 표현하지 않는 것이 좋다. 따라서 로봇의 종류와 목적에 따라서 출력을 다르게 할 수 있는 감정 모델이 필요하며, 감정에 영향을 미치는 여러 요소들을 간단하게 적용할 수 있어야 한다.

감정 모델은 로봇의 구성 요소도 고려해야 한다. 로봇이 감정을 표현할 수 있는 요소를 고려하여 감정에 따른 행동을 만들어야 한다. 예를 들어, 헤드만으로 구성되어 있는 로봇인 Kismet와 헤드뿐만 아니라 손과 몸짓까지 표현할 수 있는 Leonardo는 로봇의 목적뿐 만 아니라 행동 요소가 다르다[13]. 따라서 감정 모델은 로봇의 구성 요소를 고려하여 감정 표현을 위한 행동을 생성해주어야 한다. 또한 위와 같은 실제 로봇인 경우와 시뮬레이션 로봇인 경우[20]도 감정 모델에서 생성해주어야 할 행동은 다르다.

따라서 본 논문에서는 서비스 로봇의 종류와 목적에 따라서 출력을 다르게 만들 수 있으며, 감정 모델에 영향을 미치는 요소들을 추가하더라도 기존 감정 모델 메커니즘에 간단히 적용될 수 있는 감정 기반 행동 결정 모델을 제안하고자 한다. 제안하는 감정 모델은 반응, 내부 자극, 감정, 행동 결정 요소를 가지고 있으며, 각각 선형 동적 시스템으로 설계되었다. 그리고 각 시스템의 처리에 영향을 미치는 성격 요소를 정의하였으며, 성격은 각 단계에 따라 여러 가지로 정의된다. 성격 역시 행렬 기반의 선형 시스템으로 구성되어 있기 때문에 감정 모델의 모든 과정은 선형 동역학 방정식으로 유도될 수 있다. 제안하는 감정 기반 행동 결정 모델의 실험을 위하여 얼굴 기반 감정 표현이 가능한 사이버 로봇을

설계 및 구현하여 적용했다.

2장에서는 감정 기반 행동 결정 모델을 소개한다. 3장에서는 2장에서 소개한 감정 모델의 내부 구성에 대해 설명한다. 4장에서는 얼굴 기반의 사이버 로봇을 소개하고, 실험 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 감정 기반 행동 결정 모델

로봇의 종류와 목적에 따라서 감정 엔진의 결과인 로봇의 행동을 다르게 해줄 수 있는 시스템을 설계한다. 그리고 로봇이 인지하는 상황과 환경이 같을지라도 감정 기반 행동 결정 모델의 출력이 달라질 수 있도록 한다. 이는 설계하고자 하는 감정 기반 행동 결정 모델의 특성을 변화함으로써 해결하고자 하며, 감정 모델의 특성은 성격을 의미한다. 따라서 사람과 같이 성격을 달리함으로써 로봇이 감정을 느끼고 이에 따른 반응을 행동으로 옮길 때, 성격을 반영한 결과를 보이게 된다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 감정 기반 행동 결정 모델이다. 감정 모델은 그림에서와 같이 직접적인 반응, 내부 자극, 감정, 행동 결정의 네 가지 동적 시스템과 각 동적 시스템의 처리에 영향을 미치며 로봇의 특성을 결정하는 성격 등 다섯 가지 요소로 구성되어 있다. 성격은 입출력에 따라 n차의 벡터로 구성되며, 목적에 따라 벡터의 차수를 조절할 수 있다. 네 가지 동적 시스템도 성격과 마찬가지로 로봇의 목적에 따라서 사용하는 요소의 종류와 수가 달라질 수 있다. 또한 각 요소는 기억을 가지고 있어 동적 시스템(dynamic system)이 된다.

로봇이 인지하는 외부 자극의 종류는 매우 다양하다. 예를 들면, 얼굴, 물체, 문자, 대화 내용, 음성의 톤, 자세, 온도, 습도, 충격량 등 각종 센서로부터의 입력이 모두 사용될 수 있다. 이는 로봇의 종류와 목적에 따라서 결정된다. 인지된 외부 자극은 감정 모델로 입력되어 무의식적인 반응을 유발하는 반응 작용(reactive dynamics)과 기억에 의한 반응을 유발하는 내부 작용(internal dynamics)으로 나누어지지만 동시에 반

응 작용(reactive dynamics)과 내부 작용(internal dynamics)의 입력으로 사용될 수도 있다. 만약 외부 자극이 일정 시간 동안 인지되지 않으면, 감정 모델의 처리 속도는 느려지며, 결국 로봇은 잠이 들게 된다.

반응 작용(reactive dynamics)은 외부 자극에 대해서 탄성이나 비명과 같이 무의식적인 반응을 유발한다. 감정 작용(emotional dynamics)에는 연결되지 않아 영향을 주지 않지만, 행동 작용(behavior dynamics)에는 직접적으로 영향을 준다. 이 과정에서 로봇의 특성인 성격이 적용되며, 이 때 적용되는 성격은 참을성과 침착함이다. 내부 작용(internal dynamics)은 반응 작용(reactive dynamics)과는 반대로 의식적인 반응을 유발하며, 이 때 기억이 사용된다. 똑 같은 외부 자극에 대해서 기억에 따라 내부에서 느끼는 감정이 증폭되거나 감소된다. 예를 들어, 때림이라는 외부 자극이 인지되었을 때, 현재 감정 상태가 즐거움이거나 현재 인식된 사람이 좋아하는 사람이라면 내부 작용(internal dynamics)은 장난으로 받아들인다. 하지만 현재 감정 상태가 화남이거나 인식된 사람이 싫어하는 사람이라면 공격으로 받아들인다. 내부 작용(internal dynamics)의 처리 과정에는 민감성이라는 성격이 영향을 준다. 이 과정에서 사용되는 기억은 친근함, 사랑, 불쾌지수이다.

감정 작용(emotional dynamics)은 내부 작용(internal dynamics) 및 성격과 관련되어 있다. 내부 작용(internal dynamics)의 결과를 입력으로 사용하며, 현재의 감정 상태를 기반으로 새로운 감정 상태를 계산한다. 이 때 감정의 종류는 로봇의 목적에 따라서 쉽게 추가되거나 제거될 수 있다. 이 과정에서 사용되는 성격은 감정 절제성과 지속성이다. 결과는 로봇이 느끼는 최종적인 감정이 된다. 하지만 로봇의 목적에 따라서 표현해도 되는 감정과 표현하지 말아야 하는 감정이 있다. 이를 위해서 본 논문에서 제안하는 감정 모델은 행동 작용(behavior decision) 과정을 설계했다.

로봇의 최종적인 행동은 행동 작용(behavior dynamics)을 통해서 결정된다. 이 과정은 반응 작용(reactive dynamics)을 통한 무의식적인 반응과 기억에 의한 의식적인 반응에 영향을 받은 로봇의 최종 감정을 데이터로 사용한다. 이 때 성격이 적용되며, 로봇이 자신의 행동을 절제할 수 있는 힘인 행동 절제성과 지속성이 사용된다. 이렇게 계산된 각 행동에 대한 값 중 가장 큰 값이 최종 행동으로 결정된다. 하지만 모든 행동에 대한 값이 일정 기준에 미달된다면 로봇은 아무런 행동도 하지 않는다.

성격은 다양한 로봇을 만들기 위한 가장 중요한 요소이다. 성격은 모든 작용 계산에 영향을 미치기 때문에 성격 벡터의 값을 수정해줌으로써 간단히 로봇의 성격을 변화할 수 있다. 이는 모든 작용 결과에 반영되며, 같은 환경에서 얻은 외부 자극이 다른 결과를 가져오게 된다. 사용자는 학습을 통해 로봇의 성격을 변화시킬 수도 있다. 로봇이 사용자와 많은 시간을 보냄에 따라 로봇의 성격이 사용자의 성격과 비슷해질 수도 있다.

III. 감정 모델의 내부 구성

감정 기반 행동 결정 모델은 어떠한 로봇에도 적용이 가능하도록 설계하였다. 서비스 로봇에게 성격은 매우 중요한 요소이며, 기존 감정 모델을 이용해서 각 로봇마다 여러 가지 성격을 적용하기 위해서는 각 로봇마다 별도의 작업이 필요했다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서 제안하는 감정 기반 행동 결정 모델은 성격을 로봇의 특성을 변화할 수 있는 요소로 설정하고, 감정 모델의 각 부분을 계산할 때 적용한다. 감정 모델은 반응, 내부 자극, 감정, 행동 결정의 네 가지 요소를 가지고 있으며, 각 요소는 선형 동적 시스템으로 설계되었다. 그리고 각 동적 시스템의 시스템 행렬(system matrix)과 입력 행렬(input matrix)을 각 요소에 따른 성격으로 적용하며, 각 요소마다 다르게 적용된다. 각 요소에서 사용하는 데이터의 종류는 로봇의 종류와 목적에 따라 수에 관계없이 정의해서 적용할 수 있으며, 데이터들은 열 벡터(column vector)로 정의된다.

1. 반응 작용(reactive dynamics)

반응 작용(reactive dynamics)은 무의식적인 반응을 계산하는 시스템이다. 이 계산에는 외부 자극과 직전 반응 작용(reactive dynamics)이 데이터로 사용되며, 이 때 적용되는 성격은 참을성과 침착함이다. (1)은 반응 작용(reactive dynamics)의 계산식이다.

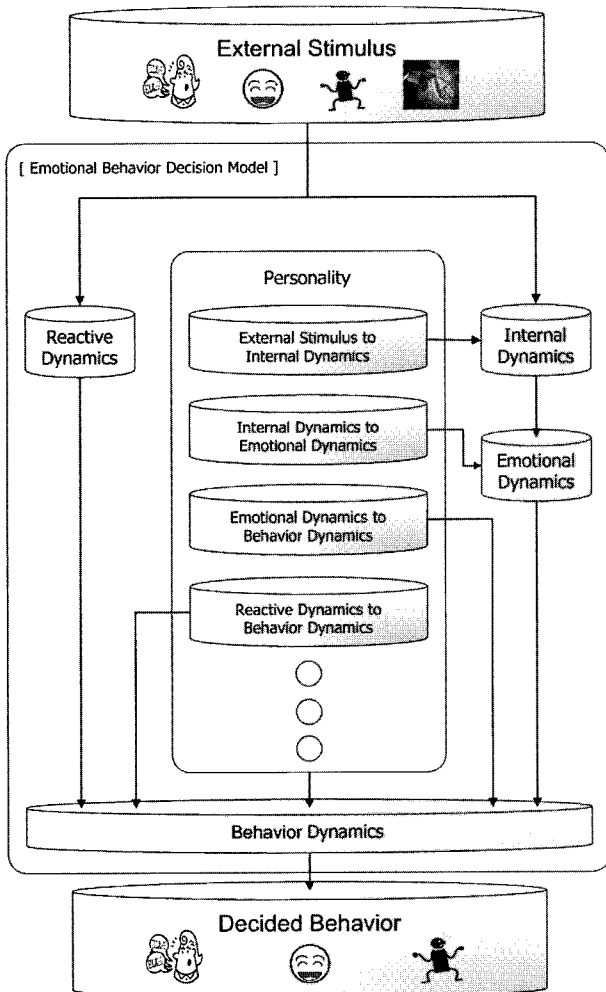


그림 2. 제안된 감정 기반 행동 결정 모델.
Fig. 2. The proposed emotional behavior decision model.

$$X_r(k+1) = A_r \cdot X_r(k) + B_r \cdot u_r(k) \tag{1}$$

where

- A_R : system matrix (diagonal matrix)
 \Rightarrow all elements have the range ($0 < A_R[n][n] < 1$)
 \Rightarrow Reactive State Memory Influence(Personality)
- $X_R(k)$: state vector (column vector)
 \Rightarrow Reactive State
- B_R : input matrix
 \Rightarrow Input Reactive Sensitivity (Personality)
- $u_R(k)$: input vector (column vector)
 \Rightarrow External Stimulus

상태 벡터(state vector) $X_R(k)$ 는 기억으로부터의 입력이고, 직전 반응작용(reactive dynamics)을 의미하며, n 개의 열 벡터들로 구성되어 있다. 그리고 시스템 행렬(system matrix) A_R 는 무의식적인 반응에 대한 기억의 지속력이다. 입력 행렬(input matrix) B_R 는 반응 작용(reactive dynamics)의 외부 자극에 대한 민감도를 의미한다. 외부 자극 중 반응 작용(reactive dynamics)에 영향을 미치는 m 개의 자극들은 입력 벡터(input vector) $U_R(k)$ 에 적용되며, (2)와 같이 구성된다. 만약 성격 행렬의 값이 모두 0으로 고정된다면, 감정 모델에서 반응 작용(reactive dynamics)은 아무런 영향을 미치지 못하며, 무의식적인 반응은 행동에서 발생하지 않는다.

$$B_R = \begin{bmatrix} B_{R,0}[0] & B_{R,0}[1] & \cdots & B_{R,0}[m] \\ B_{R,1}[0] & B_{R,1}[1] & \cdots & B_{R,1}[m] \\ B_{R,2}[0] & B_{R,2}[1] & \cdots & B_{R,2}[m] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{R,n}[0] & B_{R,n}[1] & \cdots & B_{R,n}[m] \end{bmatrix} \quad (2)$$

2. 내부 작용(internal dynamics)

내부 작용(internal dynamics)은 의식적인 반응을 계산하는 시스템이다. 이 계산에는 외부 자극과 직전 내부 작용(internal dynamics)이 데이터로 사용되며, 이 때 적용되는 성격은 민감성이다. (3)은 내부 작용(internal dynamics)의 계산식이다.

$$X_I(k+1) = A_I \cdot X_I(k) + B_I \cdot u_I(k) \quad (3)$$

where

- A_I : system matrix (diagonal matrix)
 \Rightarrow all elements have the range ($0 < A_I[n][n] < 1$)
 \Rightarrow Internal State Memory Influence (Personality)
- $X_I(k)$: state vector (column vector)
 \Rightarrow Internal State
- B_I : input matrix
 \Rightarrow Input Internal Sensitivity (Personality)
- $u_I(k)$: input vector (column vector)
 \Rightarrow External Stimulus

상태 벡터(state vector) $X_I(k)$ 는 기억으로부터의 입력이고, 직전 내부 작용(internal dynamics)을 의미하며, n 개의 열 벡터들로 구성되어 있다. 그리고 시스템 행렬(system matrix) A_I 는 의식에 영향을 주는 자극에 대한 기억이며, 각 데이터에 대한 지속력이다. 입력 행렬(input matrix) B_I 는 내부 작용(internal dynamics)의 외부 자극에 대한 민감도를 의미한다. 외부 자극 중 내부 작용(internal dynamics)에 영향을 미치는 m 개의 자극들은 입력 벡터(input vector) $U_I(k)$ 에 적용되며, (4)와 같이 구성

된다. 만약 성격 행렬의 값이 모두 0으로 고정된다면, 감정 모델에서 내부 작용(internal dynamics)은 아무런 영향을 미치지 못하며, 의식에 영향을 주는 자극은 없고, 행동에도 영향을 주지 못한다.

$$B_I = \begin{bmatrix} B_{I,0}[0] & B_{I,0}[1] & \cdots & B_{I,0}[m] \\ B_{I,1}[0] & B_{I,1}[1] & \cdots & B_{I,1}[m] \\ B_{I,2}[0] & B_{I,2}[1] & \cdots & B_{I,2}[m] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{I,n}[0] & B_{I,n}[1] & \cdots & B_{I,n}[m] \end{bmatrix} \quad (4)$$

3. 감정 작용(emotional dynamics)

감정 작용(emotional dynamics)은 로봇의 감정을 계산하는 시스템이다. 이 계산에는 내부 작용(internal dynamics)의 결과인 내부 자극과 직전 감정 작용(emotional dynamics)이 데이터로 사용되며, 이 때 적용되는 성격은 감정 절제성과 지속성이다. (5)는 감정 작용(emotional dynamics)의 계산식이다.

$$X_E(k+1) = A_E \cdot X_E(k) + B_E \cdot u_E(k) \quad (5)$$

where

- A_E : system matrix (diagonal matrix)
 \Rightarrow all elements have the range ($0 < A_E[n][n] < 1$)
 \Rightarrow Emotional Memory Influence (Personality)
- $X_E(k)$: state vector (column vector)
 \Rightarrow Emotion
- B_E : input matrix
 \Rightarrow Input Emotional Sensitivity (Personality)
- $u_E(k)$: input vector (column vector)
 \Rightarrow Internal State

상태 벡터(state vector) $X_E(k)$ 는 기억으로부터의 입력이고, 직전 감정 작용(emotional dynamics)을 의미하며, n 개의 열 벡터들로 구성되어 있다. 그리고 시스템 행렬(system matrix) A_E 는 직전 감정에 대한 지속력이다. 입력 행렬(input matrix) B_E 는 감정 작용(emotional dynamics)의 내부 자극에 대한 민감도를 의미한다. 감정 작용(emotional dynamics)에 영향을 미치는 m 개의 내부 자극은 입력 벡터(input vector) $U_E(k)$ 에 적용되며, 식 (6)과 같이 구성된다. 만약 성격 행렬의 값이 모두 0으로 고정된다면, 감정 모델에서 감정 작용(emotional dynamics)은 아무런 영향을 미치지 못하며, 로봇의 감정은 없다.

$$B_E = \begin{bmatrix} B_{E,0}[0] & B_{E,0}[1] & \cdots & B_{E,0}[m] \\ B_{E,1}[0] & B_{E,1}[1] & \cdots & B_{E,1}[m] \\ B_{E,2}[0] & B_{E,2}[1] & \cdots & B_{E,2}[m] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{E,n}[0] & B_{E,n}[1] & \cdots & B_{E,n}[m] \end{bmatrix} \quad (6)$$

4. 행동 작용(behavior dynamics)

행동 작용(behavior dynamics)은 로봇의 행동을 계산하는 시스템이다. 이 계산에는 반응 작용(reactive dynamics)의 결과인 무의식적인 반응과 감정 작용(emotional dynamics)의 결과인 감정, 직전 행동 작용(behavior dynamics)이 데이터로 사용되며, 이 때 적용되는 성격은 행동 절제성과 지속성이다. (7)은 행동 작용(behavior dynamics)의 계산식이다.

$$Y_B(k+1) = A_B \cdot Y_B(k) + C_E \cdot X_E(k) + C_R \cdot X_R(k) \quad (7)$$

where

- A_B : system matrix (diagonal matrix)
 \Rightarrow all elements have the range ($0 < A_B[n][n] < 1$)
 \Rightarrow Behavior Memory Influence (Personality)
- $Y_B(k)$: state vector (column vector)
 \Rightarrow Behavior
- C_E : output matrix
 \Rightarrow Output Emotional Sensitivity (Personality)
- $X_E(k)$: state vector (column vector)
 \Rightarrow Decided Emotion
- C_R : output matrix
 \Rightarrow Output Reactive Sensitivity (Personality)
- $X_R(k)$: state vector (column vector)
 \Rightarrow Reactive State

상태 벡터(state vector) $Y_B(k)$ 는 기억으로부터의 입력이고, 직전 행동 작용(behavior dynamics)을 의미하며, n 개의 열 벡터들로 구성되어 있다. 그리고 시스템 행렬(system matrix) A_B 는 직전 행동에 대한 지속력이다. 출력 행렬(output matrix) C_E 는 행동 작용(behavior dynamics)의 감정에 대한 민감도를 의미한다. 내부 자극은 감정 작용(emotional dynamics)을 통해서 감정에 이미 영향을 미쳤기 때문에 고려하지 않아도 된다. 행동 작용(behavior dynamics)에 영향을 미치는 m 개의 감정은 상태 벡터(state vector) $X_E(k)$ 에 적용되며, (8)과 같이 구성된다.

$$C_E = \begin{bmatrix} C_E[0][0] & C_E[0][1] & \cdots & C_E[0][m] \\ C_E[1][0] & C_E[1][1] & \cdots & C_E[1][m] \\ C_E[2][0] & C_E[2][1] & \cdots & C_E[2][m] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_E[n][0] & C_E[n][1] & \cdots & C_E[n][m] \end{bmatrix} \quad (8)$$

출력 행렬(output matrix) C_R 은 행동 작용(behavior dynamics)의 무의식적인 반응에 대한 민감도를 의미한다. 행동 작용(behavior dynamics)에 영향을 미치는 m 개의 무의식적인 반응은 상태 벡터(state vector) $X_R(k)$ 에 적용되며, (9)와 같이 구성된다. 만약 성격 행렬의 값이 모두 0으로 고정된다면, 감정 모델에서 행동 작용(behavior dynamics)은 아무런 영향을 미치지 못하며, 로봇은 아무런 행동도 하지 않는다. 최종 행동은 출력 벡터(output vector) $Y_B(k+1)$ 의 n 개의 열 벡터들 중 가장 큰 값을 가지는 행동이 선택된다. 하지만 이 값이 일정 기준보다 작다면, 로봇은 아무런 행동을 하지 않는다.

$$C_R = \begin{bmatrix} C_R[0][0] & C_R[0][1] & \cdots & C_R[0][k] \\ C_R[1][0] & C_R[1][1] & \cdots & C_R[1][k] \\ C_R[2][0] & C_R[2][1] & \cdots & C_R[2][k] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_R[n][0] & C_R[n][1] & \cdots & C_R[n][k] \end{bmatrix} \quad (9)$$

IV. 얼굴 기반의 사이버 로봇을 이용한 실험 및 분석

제한된 감정 기반 행동 결정 모델을 시뮬레이션이 가능한 사이버 로봇에 적용한 실험을 진행했다. 실험에서 사용한 데

이터는 다음과 같다. (10)은 실험에서 사용한 외부 자극의 종류이다. 외부 자극은 19개의 열 벡터들로 구성되어 있다.

$$\text{Vec.}\{ES_SayLove, ES_SayPraise, ES_SayAbuse, ES_QuizCorrect, ES_QuizWrong, ES_ObjectFindSuccess, ES_ObjectFindFail, ES_MusicDance, ES_MusicClassic, ES_DrinkingAlcohol, ES_TemperatureHigh, ES_TemperatureLow, ES_HumidityHigh, ES_HumidityLow, ES_ShakeHands, ES_SuddenlyCome, ES_SuddenlyCall, ES_ObstacleDetection, ES_Hit\} \quad (10)$$

반응 작용(reactive dynamics)에서 사용한 데이터는 (11)에 나타났다. 무의식적인 자극은 10개의 열 벡터들로 구성되어 있다.

$$\text{Vec.}\{RS_SuddenlyCome, RS_SuddenlyCall, RS_ObstacleDetection, RS_Hit, RS_QuizCorrect, RS_QuizWrong, RS_ObjectFindSuccess, RS_ObjectFindFail, RS_MusicDance, RS_MusicClassic\} \quad (11)$$

내부 작용(internal dynamics)에서 사용한 데이터는 (12)에 나타났다. 내부 자극은 12개의 열 벡터들로 구성되어 있다.

$$\text{Vec.}\{IS_AdegreeOfAttraction, IS_ADegreeOfViolence, IS_Love, IS_Praise, IS_Abuse, IS_Smart, IS_Ignorance, IS_ObjectFindSuccess, IS_ObjectFindFail, IS_Atmosphere, IS_Drunken, IS_DiscomfortIndex\} \quad (12)$$

감정 작용(emotional dynamics)에서 사용한 데이터는 (13)에 나타났다. 감정은 8개의 열 벡터들로 구성되어 있다.

$$\text{Vec.}\{EM_Happy, EM_Sad, EM_Surprise, EM_Love, EM_Disgust, EM_Fear, EM_Angry, EM_Respect\} \quad (13)$$

행동 작용(behavior dynamics)에서 사용한 데이터는 (14)에 나타났다. 행동은 12개의 열 벡터들로 구성되어 있다.

$$\text{Vec.}\{BE_Happy, BE_Sad, BE_Surprise, BE_Disgust, BE_Fear, BE_Angry, BE_Sigh, BE_Miss, BE_Embarrassed, BE_Kiss, BE_Dance, BE_Appreciation\} \quad (14)$$

감정 기반 행동 결정 모델의 성능을 테스트하기 위해서 그림 3과 같이 ICCL intelligent system을 구현하였다. ICCL intelligent system은 다양한 알고리즘들을 보다 효율적으로 구현하기 위해 이들을 통합할 수 있는 확장 가능한 시스템 재

설정 및 진화를 위한 지능형 소프트웨어 아키텍처를 기반으로 구현되었다[21]. 이 시스템은 새로운 알고리즘을 추가하거나 환경에 따라 시스템을 재구성해야 할 경우, 이에 대한 비용과 시간을 단축할 수 있다는 장점을 갖는다.

그림 3의 왼쪽 윗부분은 제안된 감정 기반 행동 결정 모델의 구조를 보여준다. 사용자는 해당된 부분을 클릭하여 성격 및 구성 요소를 쉽게 변경할 수 있다. 오른쪽 부분은 위로부터 각각 감정 인식, 감정 모델, 감정 표현을 위한 부분이며, 서비스 로봇이 변경됨에 따라 각 엔진을 변경할 수 있다. 사이버 로봇은 연결된 카메라로부터 사람의 얼굴을 인식하고 음성을 분석하여 주변의 상황을 인지하고 자극을 받아들인다. 사이버 로봇은 자신이 좋아하는 사람의 얼굴이나 물건을 기억하고 있으며, 자극이 인지되면 감정 모델의 외부 자극으로 전달한다. 음성의 경우도 칭찬이나 욕을 구분하며, 감정 모델로 인지한 내용을 전달한다. 이 밖에도 온도, 습도 센서 등으로부터 외부 자극을 인지한다. 왼쪽 아랫부분은 감정 기반 행동 결정 모델의 처리 결과를 출력해주는 부분이다.

사이버 로봇은 그림 3의 오른쪽 아랫부분에 그림 또는 플래시를 출력함으로써 감정을 표현한다. 실험에 사용된 8가지의 감정과 평상 상태 등 모두 9가지의 감정을 표현할 수 있으며, 사이버 로봇은 그림과 플래시의 두 가지 표현 방법을 가지고 있다. ICCL intelligent system을 이용해 컴파일 없이 표현 방법을 바꿀 수 있도록 구현했다. 그림 4는 눈과 입의 모양을 그림으로 표현한다. 그림 5는 플래시를 사용하는 경우이며, 팔과 몸의 움직임, 얼굴 표정, 글씨 및 색상의 변화로 표현한다. 그림 4와 그림 5에서 사용한 감정의 종류는 동일하며, 그림 4의 감정 표현 종류는 그림 5에 표기한 것과 같은 위치에 나타났다.

실험은 위와 같이 설정된 감정 모델의 조건 하에서 성격이 다른 두 감정 모델을 하나의 시나리오를 적용함으로써 그 변화를 살펴봤다. 감정 모델의 입력으로는 얼굴 인식과 음성 인식을 사용했으며, 로봇이 기억을 가지고 있는지의 여부, 기억의 변화, 이에 따른 감정 기반 행동 결정 모델의 각 요소의 변화 등을 분석했다. 최종 행동의 기준 값은 5로 설정했다. 실험 시나리오는 다음과 같다.

1. 로봇이 3초경 폭력성이 높다고 기억된 사람의 얼굴을 인지한다. 인지된 결과는 외부 자극이 되어 내부 자극의 입력으로 적용된다.
2. 9초경 그 사람이 칭찬을 한다.
3. 14초경에 한번 더 칭찬을 한다.
4. 19초경에 사랑을 고백한다.

두 감정 모델의 성격을 다르게 하기 위하여 네 가지의 작용 중 감정 작용의 성격만 다르게 했고, 나머지 반응 작용, 내부 작용, 행동 작용의 성격은 동일하게 설정했다. 첫 번째 감정 모델은 기존 감정의 지속보다는 새로운 입력을 중요시하는 경우이며, 두 번째 감정 모델은 기존 감정의 지속이 새로운 입력보다 강한 영향을 미치는 경우이다. 따라서 첫 번째 감정 모델은 감정 작용(emotional dynamics)에서 직전 감정에 대한 지속력을 의미하는 시스템 행렬(system matrix) A_E 의 모든 대각 행렬(diagonal matrix) 요소의 값을 0.4, 내부 자극에 대한 민감도를 나타내는 입력 행렬(input matrix) B_E 의 모든

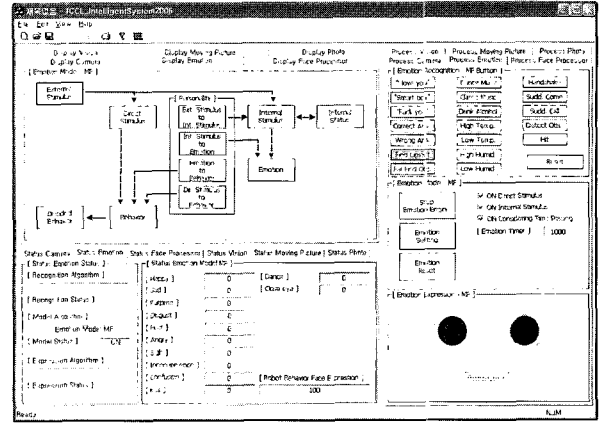


그림 3. ICCL intelligent system에 구현된 감정 기반 행동 결정 모델.

Fig. 3. The implemented emotional behavior decision model on ICCL intelligent system.

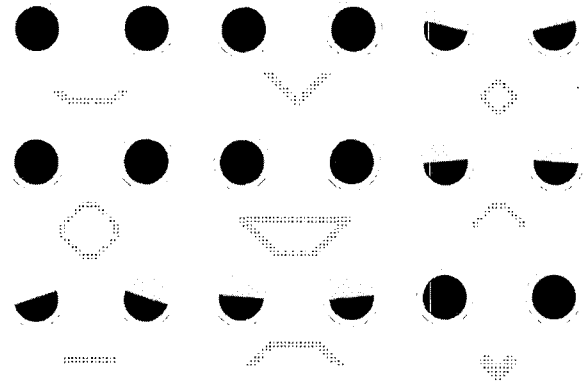


그림 4. 그림을 이용한 사이버 로봇의 감정 표현.

Fig. 4. The facial emotion expression of cyber robot.

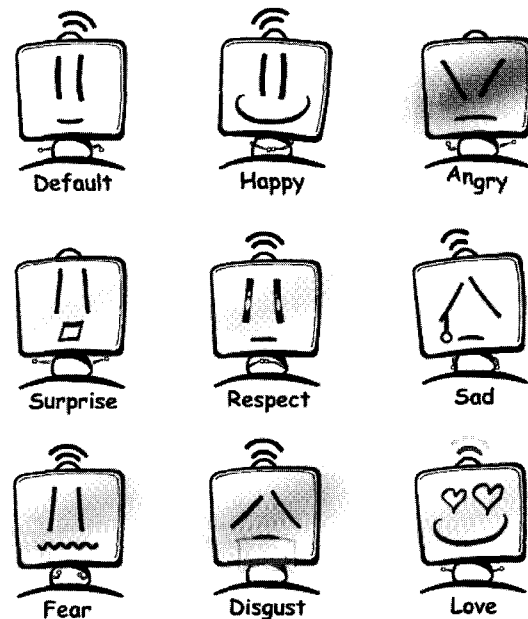


그림 5. 플래시를 이용한 사이버 로봇의 감정 표현.

Fig. 5. The emotion expression by flash of cyber robot.

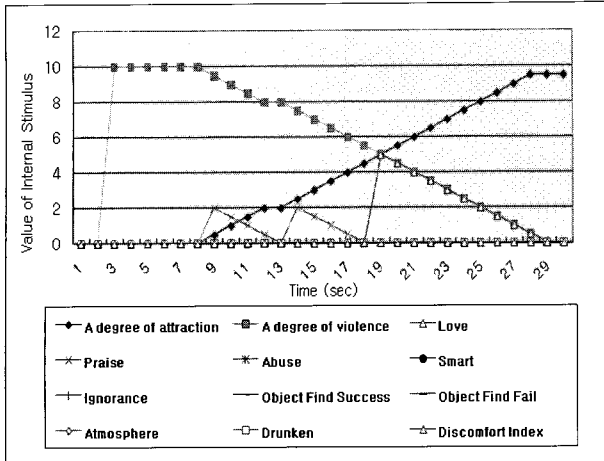


그림 6. 시나리오에 따른 내부 자극 그래프.
Fig. 6. The graph of internal stimulus by the scenario.

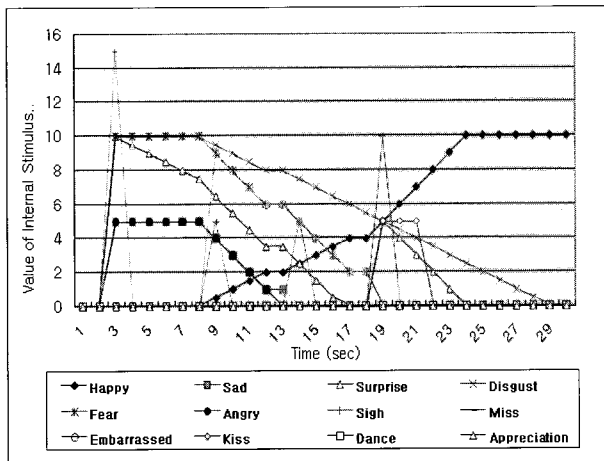


그림 7. 첫 번째 감정 엔진의 시나리오에 따른 행동 결정 그래프.
Fig. 7. The graph of behavior decision from first emotional engine by the scenario.

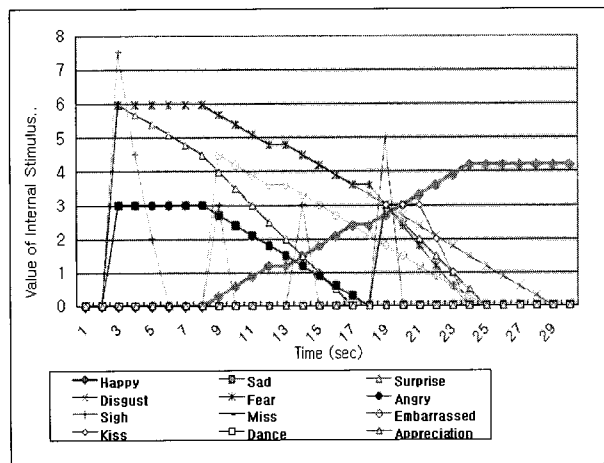


그림 8. 두 번째 감정 엔진의 시나리오에 따른 행동 결정 그래프.
Fig. 8. The graph of behavior decision from second emotional engine by the scenario.

대각 행렬(diagonal matrix) 요소의 값을 0.6으로 설정했으며, 두 번째 감정 모델은 직전 감정에 대한 지속력을 의미하는 시스템 행렬(system matrix) A_E 의 모든 대각 행렬(diagonal matrix) 요소의 값을 0.6, 내부 자극에 대한 민감도를 나타내는 입력 행렬(input matrix) B_E 모든 대각 행렬(diagonal matrix) 요소의 값을 0.4로 설정했다. 그리고 각 작용에서 시스템 행렬(system matrix) A , 입력 행렬(input matrix) B , 그리고 출력 행렬(output matrix) C 는 모두 대각 행렬(diagonal matrix)이며, 각각 0.5로 설정하였다.

그림 6은 첫 번째 감정 모델에서 외부 자극이 내부 자극에 영향을 주어 내부 작용(internal dynamics)을 거친 결과 그래프이다. 그리고 그림 7은 첫 번째 감정 모델에서 행동 결정의 결과 그래프이다. 두 그래프를 분석하면 첫 번째 외부 자극인 로봇이 사람을 인정한 3초경, 내부 자극은 폭력성이 높게 나타났다. 이는 인지한 사람이 폭력성이 높은 사람이라고 로봇이 기억하고 있기 때문이다. 그리고 행동 그래프에서는 순간적으로 고향을 질렀다. 두 번째 외부 자극이 주어진 9초경, 칭찬을 자극으로 받았기 때문에 내부 자극은 이전까지 지속되던 폭력성이 줄어들기 시작했고 호감도가 약간씩 증가하기 시작했다. 그리고 행동에서는 순간적인 고향 이후 무서움을 표현하다가 두 번째 자극 이후에는 거부감을 표현했다. 그리고 서서히 거부감이 줄어들기 시작했다.

다시 한번 칭찬이 인지된 14초경, 내부 자극은 변화를 잠시 멈췄던 폭력성과 호감도가 다시 변화하기 시작했고, 행동에서도 잠시 멈췄던 거부감이 다시 줄어들기 시작했으며, 마지막 외부 자극이 주어진 19초경, 내부 자극에서는 사랑이 높아졌다가 조금씩 줄어들었음을 보였으며, 행동에서는 거부감 때문인지 잠시 고향을 질렀다가 행복한 표정을 지었음을 확인하였다.

두 번째 감정 모델을 실험한 결과 내부 작용(internal dynamics)은 첫 번째 감정 모델에서의 그래프인 그림 6과 동일한 결과를 얻었다. 두 감정 모델의 차이점이 내부 작용(internal dynamics)의 다음 과정인 감정 작용(emotional dynamics)의 성격만 다르기 때문으로 해석된다. 하지만 행동 작용(behavior dynamics)의 결과인 최종 행동은 다르게 나타났다. 그림 8은 두 번째 감정 엔진의 시나리오에 따른 행동 결정 그래프를 나타낸다. 첫 번째 감정 엔진의 최종 결과인 그림 7과 비교하면 최종 결과값이 전체적으로 낮아졌음을 알 수 있다. 그리고 감정의 변화가 둔감함도 나타났다. 시나리오상에서는 3초경 사람을 인정한 후 무서움 이후에 거부감을 표현했던 첫 번째 감정 모델과는 다르게 소리를 한번 지른 후, 12초경까지 계속 무서움을 표현했다. 그리고 12초경 이후부터는 무서움의 값이 최종 행동 기준 값인 5를 넘지 못해 보통 표정을 지었다. 그리고 19초경 잠시 소리를 질렀고, 사람에 대한 호감도는 계속 천천히 증가했지만 최종 행동 기준 값을 넘지 못한 채 계속 보통 표정을 지었다. 이 실험을 통해 본 논문에서 제안한 감정 기반 행동 결정 모델이 같은 상황에서도 성격에 따라 다른 행동을 나타냄을 확인할 수 있었다.

V. 결론

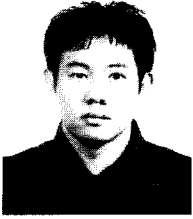
지능형 서비스 로봇은 사람과 같은 공간에서 함께 생활하

면서 도움을 주는 로봇으로 감정이 묻어나는 의사소통이 필요하다. 또한 서비스 로봇의 종류와 목적, 사양에 따라서 감정 표현과 행동은 다르게 나타나야 한다. 본 논문에서는 로봇에 성격을 부여하고, 그 성격에 따라 로봇의 감정 표현 및 행동에 변화를 줄 수 있는 감정 기반 행동 결정 모델을 제안했다. 제안된 감정 모델은 반응과 내부 자극, 감정, 행동 결정의 네 가지 요소를 가지고 있으며, 각 요소는 선형 동적 시스템으로 설계되었다. 로봇의 특성을 결정하는 성격은 각 요소에 따라 n 개의 벡터로 구성되며, 각 동적 시스템의 계산에 사용되어 결과에 큰 영향을 미친다. 각 요소에서 사용하는 데이터의 종류는 벡터를 추가하거나 제거함으로써 변경이 가능하며, 0으로 정의된 경우에는 사용하지 않는 것으로 적용된다.

제안된 감정 기반 행동 결정 모델의 성능을 검증하기 위해 얼굴 표정으로 감정을 표현할 수 있는 사이버 로봇을 구현했다. 실험은 시나리오 방식으로 진행했으며, 같은 시나리오를 성격이 다른 두 감정 모델을 사이버 로봇에 적용했으며 실험 결과로부터 제안된 감정 기반 행동 결정 모델은 성격의 변화에 따라 감정 및 행동이 달라짐을 확인할 수 있었다. 앞으로 로봇의 성격이 학습으로 변화할 수 있음을 다양한 실험을 통해 증명하고, 더욱 쉬운 방법으로 성격을 변경할 수 있는 알고리즘과 감정 메커니즘에 대한 연구를 진행할 계획이다. 또한 멀티 로봇 시스템에도 적용할 계획이다.

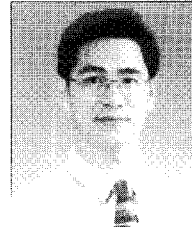
참고문헌

- [1] P. S. Aleksic and A. K. Katsaggelos, "Automatic facial expression recognition using facial animation parameters and multistream HMMs," *Information Forensics and Security, IEEE Transactions on*, vol. 1, no. 1, pp. 3-11, Mar., 2006.
- [2] W. Zheng, X. Zhou, C. Zou, and L. Zhao, "Facial expression recognition using kernel canonical correlation analysis," *IEEE Transaction on Neural Network*, vol. 17, no. 1, pp. 233-238, Jan., 2006.
- [3] H. Gu and Q. Ji, "Facial event classification with task oriented dynamic bayesian network," *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '04)*, vol. 2, pp. 870-875, Jun., 2004.
- [4] J. Nicholson, K. Takahashi, and R. Nakatsu, "Emotion recognition in speech using neural networks," *Neural Information Processing, 1999. Proceedings. ICONIP '99. 6th International Conference on*, vol. 2, pp. 495-501, Nov., 1999.
- [5] Y.-H. Hyun, E.-H. Kim, and Y.-K. Kwak, "Robust speech emotion recognition using log frequency power ratio," *SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference*, pp. 2586-2589, Oct., 2006.
- [6] B. Schuller, D. Arsic, F. Wallhoff, M. Lang, and G. Rigoll, "Bioanalog acoustic emotion recognition by genetic feature generation based on low-level-descriptors," *Computer as a Tool, 2005. EUROCON 2005. The International Conference on*, vol. 2, pp. 1292-1295, Nov., 2005.
- [7] C. K. Lee, S. K. Yoo, Y. J. Park, N. H. Kim, K. S. Jeong, and B. C. Lee, "Using neural network to recognize human emotions from heart rate variability and skin resistance," *Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International Conference of the*, pp. 5523-5525, Sep., 2005.
- [8] J. Wagner, J. Kim, and E. Andr', "From physiological signals to emotions: Implementing and comparing selected methods for feature extraction and classification," *Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005. IEEE International Conference on*, pp. 940-943, Jul., 2005.
- [9] S. Kshirsagar, "A multilayer personality model," *Proceedings of 2nd international symposium on smart graphics*, pp.107-115, 2002.
- [10] H. Nakajima, et. al., "The functionality of human-machine collaboration systems mind model and social behavior," *Systems, Man and Cybernetics, 2003. IEEE International Conference on*, vol. 3, pp. 2381-2387, Oct., 2003.
- [11] D. Yingying, H. Yan, and J. J.-ping, "Self-organizing multi-robot system based on personality evolution," *2002 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol.5., Oct., 2002.
- [12] F. Hara and S. Mogi, "A computational model of artificial emotion by using harmony theory and genetic algorithm," *Robot and Human Communication, 1993. Proceedings., 2nd IEEE International Workshop on*, pp. 414-419, Nov., 1993.
- [13] C. Breazeal, "Function meets style: insights from emotion theory applied to HRI," *Systems, Man and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, vol. 34, no. 2, pp. 187-194, May, 2004.
- [14] Miwa H., et. al., "Effective emotional expressions with expression humanoid robot WE-4RII: integration of humanoid robot hand RCH-1," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2004 (IROS 2004)*, vol. 3, pp. 2203-2208, 2004.
- [15] C. L. Lisetti, et al, "A social informatics approach to human-robot interaction with a service robot," *Systems, Man and Cybernetics, 2004. IEEE International Conference on*, vol. 34, no. 2, pp. 195-209, 2004.
- [16] C.-W. Yu and J. Choi, "Behavior decision model of robot based on emotion and dynamic personality," *International Conference on Control, Automation, Systems*, Jul., 2005.
- [17] M. Fujita, "On activating human communications with per-type robot AIBO," *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 11, pp. 1804-1813, Nov., 2004.
- [18] K. Sakai, Y. Yasukawa, Y. Murase, S. Kanda, and N. Sawasaki, "Developing a service robot with communication abilities," *Robot and Human Interactive Communication, 2005. ROMAN 2005. IEEE International Workshop on*, pp. 91-96, Aug., 2005.
- [19] Y. Koide, T. Kanda, Y. Sumi, K. Kogure, and H. Ishiguro, "An approach to integrating an interactive guide robot with ubiquitous sensors," *Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 3, pp. 2500-2505, Sep., 2004.
- [20] T. Fukuda, M.-J. Jung, M. Nakashima, F. Arai, and Y. Hasegawa, "Facial expressive robotic head system for human-robot communication and Its application in home environment," *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 11, pp. 1851-1865, Nov., 2004.
- [21] J. H. Na, H. S. Ahn, M. S. Park, and J. Y. Choi, "Development of reconfigurable and evolvable architecture for intelligence implement," *the Journal of Fuzzy Logic and Intelligent System*, vol. 15, no. 6, pp. 35-39, Dec., 2005.



안 호 석

2005년 성균관대학교 정보통신공학부 학사. 2005년 일본 AIST Intelligent Systems Research Institute Visiting Researcher. 2005년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석박사통합과정 재학중. 관심분야는 지능로봇, 인공감정, 영상감시시스템.



최 진 영

1982년 서울대학교 제어계측공학과 학사. 1984년 서울대학교 제어계측공학과 석사. 1993년 서울대학교 제어계측공학과 박사. 1984년~1994년 한국전자통신연구소 연구원. 1998년~1999년 University of California, Riverside 객원교수. 1994년~2004년 서울대학교 전기공학부 부교수. 2004년~현재 서울대학교 전기공학부 교수. 관심분야는 영상감시시스템, 적응제어, 신경회로망.