

프록세믹스 조건에 따른 최소 모션 로봇 표현의 사용자 인식 구조 변화

Structural Changes in User Perception of Minimal Motion in HRI Across Proxemic Conditions

박효상, 홍익대학교 디자인학 / 신승혁, 홍익대학교 기계공학과 / 박기철, 홍익대학교 기계시스템디자인공학

Pak, Hyo Sang_Design Studies, IDAS, Hongik University / Shin, Seong Hyeok_Dept. of Mechanical Engineering

Pak, Ki Cheol_Dept. of MSDE, Hongik University

차례

1. 서론
 - 1.1. 연구 배경
 - 1.2. 연구 목적

2. 설계
 - 2.1. 요인
 - 2.2. 실험 로봇
 - 2.3. 측정 방법

3. 연구 방법
 - 3.1. 환경
 - 3.2. 절차
 - 3.3. 분석

4. 결과
 - 4.1. 감정 인식 중립성
 - 4.2. 의사소통 가능성
 - 4.3. 감정 인식 강도
 - 4.4. 사후 인터뷰

5. 결론
 - 5.1. 연구 요약
 - 5.2. 후속 연구

References

프록세믹스 조건에 따른 최소 모션 로봇 표현의 사용자 인식 구조 변화

Structural Changes in User Perception of Minimal Motion in HRI Across Proxemic Conditions

박효상, 홍익대학교 디자인학 / 신승혁, 홍익대학교 기계공학과 / 박기철, 홍익대학교 기계시스템디자인공학

Pak, Hyo Sang_Design Studies, IDAS, Hongik University / Shin, Seong Hyeok_Dept. of Mechanical Engineering

Pak, Ki Cheol_Dept. of MSDE, Hongik University

요약

중심어

프록세믹스

최소 모션

비언어 커뮤니케이션

감성적 인터랙션

사용자-로봇 인터랙션

본 연구는 소셜 로봇의 최소 모션이 프록세믹스 조건, 즉 사용자-로봇 간 거리와 공간 배치가 결합된 상황에서 어떻게 지각되는지를 검증하였다. 이를 위해 의사소통 가능성과 감정 인식 강도를 주요 평가 차원으로 설정하고, 두 거리 조건(60cm, 200cm)과 두 표현 모달리티(유니모달, 멀티모달)를 결합한 2×2 혼합 요인 설계를 적용하였다. 실험은 가정 내 호출-응답 맥락을 모사한 시나리오로 구성되었으며, 기준 감정은 놀라움으로 설정하였다(n=40). 감정 인식 중립성 분석 결과, 놀라움은 모든 조건에서 '표사-감지-경계' 순서의 동일 선택 구조를 보였고, 유니모달 조건의 거리 비교에서는 $\chi^2=0.69$, 멀티모달 조건에서는 $\chi^2=1.00$ 으로 나타났으며, 각 순위별 표준화 비교 검증에서도 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 기준 감정이 거리와 모달리티 변화와 무관하게 비교적 안정적으로 인식되었음을 보여준다. 의사소통 가능성 분석에서는 유니모달 조건에서 일부 문항의 유의성이 관찰되었고, 5개 문항 중 3개 문항에서 중간 이상의 효과 크기(Cliff's δ)가 나타났으며, 2개 문항에서 신뢰도 기준($\alpha \geq .70$)이 확인되었다. 멀티모달 조건에서는 일부 문항에서 유의성이 관찰되었고, 동일 문항에서 강한 효과 크기가 나타났으나, 신뢰도 기준을 충족한 문항은 확인되지 않았다. 감정 인식 강도 분석에서는 유니모달과 멀티모달 모두에서 통계적 유의성이 확인되지 않았다. 다만 유니모달 조건에서는 2개 문항, 멀티모달 조건에서는 3개 문항에서 작은-중간 수준의 효과 크기가 관찰되었고, 멀티모달 조건의 1개 문항에서만 신뢰도 기준($\alpha \geq .70$)이 확인되었다. 사후 인터뷰 결과 또한 이러한 정량적 경향을 보완하였다. 근거리에서는 유니모달 표현이 부담이 적은 최소 단서로 해석되는 경향이 있었으며, 원거리에서는 멀티모달 표현이 반응 의도와 감정 해석의 모호성을 줄이는 방향으로 나타났다. 종합하면, 최소 모션 기반 로봇 표현은 프록세믹스 조건에 따라 의사소통 가능성과 감정 인식 강도에서 상이한 반응 양상을 보였으며, 이는 거리 조건에 따른 로봇 표현의 차등적 설계를 위한 초기 실증적 근거를 제시한다. 나아가 동일한 표현이라도 프록세믹스 조건에 따라 사용자 지각과 해석 방식이 달라질 수 있음을 보여준다.

ABSTRACT

Keywords

Proxemics

Minimal Motion

Non-verbal Communication

Affective Interaction

HRI

This study examined how Minimal Motion in social robots is perceived under Proxemic Conditions, specifically in relation to User-robot distance and spatial arrangement. A 2×2 mixed factorial design was applied using two distance conditions (60 cm, 200 cm) and two expression modalities (Unimodal, Multimodal), with Perceived Communication Capability and Perceived Emotion Expression Intensity as the main evaluation dimensions. The experiment was conducted in a domestic call-and-response scenario, with surprise as the reference emotion (n=40). The analysis of Emotional Neutrality showed that surprise produced the same response structure—signaling, detection, and alertness—across all conditions. In the distance comparison, the Unimodal condition yielded $\chi^2=0.69$, and the Multimodal condition yielded $\chi^2=1.00$, with no significant differences in the standardized comparison tests by rank. This suggests that the reference emotion was perceived relatively consistently across distance and modality conditions. In the analysis of Perceived Communication Capability, some items in the Unimodal condition showed significance, three of five items showed medium or larger effect sizes (Cliff's δ), and two items met the reliability criterion ($\alpha \geq .70$). In the Multimodal condition, some items also showed significant differences and strong effect sizes, but no items met the reliability criterion. For Perceived Emotion Expression Intensity, neither condition showed statistical significance. However, small-to-medium effect sizes were observed in two Unimodal items and three Multimodal items, and only one multimodal item met the reliability criterion ($\alpha \geq .70$). Post-interaction Interviews complemented these quantitative patterns: at close range, Unimodal expressions tended to be interpreted as low-burden minimal cues, whereas at longer range, Multimodal expressions tended to reduce ambiguity in interpreting response intention and emotion. Overall, Minimal Motion-based robot expressions exhibited differentiated response patterns as a function of proxemic conditions, providing initial empirical grounding for distance-contingent design and indicating that even identical expressions may be perceived and interpreted differently depending on user-robot distance.

이 연구는 2026년도

산업통상자원부 및

한국산업기술기획평가원(KEIT)

연구비 지원에

의한 연구임(20023835)

1. 서론

1.1. 연구 배경

최근 HRI(Human-Robot Interaction) 연구는 단순한 작업 수행을 넘어, 사용자와 로봇 간 정서적 관계 형성인 감성적 인터랙션(Affective Interaction)을 핵심 가치로 다루고 있다. 특히 언어적 설명이나 명시적 메시지가 없어도 감정과 의도가 전달되는 비언어적 커뮤니케이션은 시선·자세·움직임과 같은 최소한의 행동만으로도 로봇을 사회적 행위자로 인식하게 만드는 중요한 단서로 작동한다(Breazeal, 2003). 비언어적 표현의 사회적 기능과 설계적 가능성과 관련한 선행 연구를 표로 정리하여 나타내면 다음과 같다.

(Table 1) Key Research Themes in Minimal and Nonverbal Expressive Communication for HRI

개요	연구 내용	검증 지표	연구자(년도)
단순 비언어적 표현의 사회적 기능	로봇의 시선, 자세, 움직임과 같은 비언어적 행동은 언어적 발화가 없어도 사회적 신호로 인식되며, 사용자가 로봇의 의도와 상태를 이해하는 데 중요한 단서로 기능함을 이론적으로 설명	사회적 반응 해석, 인터랙션 관찰	Breazeal, C.(2003)
거리와 맥락 요소의 인터랙션 적합성	사용자와 로봇 간 거리·시선 방향이 의사소통의 편안함과 수용성에 영향을 미치며, 프록세믹스 요소를 고려한 설계가 인터랙션을 자연스럽게 만드는 데 기여함을 실험을 통해 분석함	거리 선호도, 인터랙션 적합성	Walters, M. et al.(2009)
사회적 신호로서의 감정 표현	로봇의 감정 표현은 단순한 정보 전달로 인식되기보다 사회적 상황 속에서 의미가 해석됨. 이는 사용자의 반응 방식과 이후 인터랙션이 이어지는 방향에 영향을 미침	사회적 반응, 맥락 해석	Rossi, A. & Ruocco, M.(2019)
단순 동작 기반 감정 인식 가능성	제한된 동작 조건에서도 사용자는 감정의 차이를 구분할 수 있음을 분석. 로봇의 동작 특성이 감정 인식에 영향을 미친다는 점을 확인	감정 인식 정확도, 동작-감정 대응	Matsumaru, T.(2022)
표현 단순화와 설계 효율성	감정 표현 요소를 단순화하면 시스템 구현에 필요한 복잡도가 감소하면서도 비교적 일관된 신호 전달이 가능하며, 이는 표현 설계 구현 효율성과 안정성을 높이는 방향으로 작용함을 보여준	구현 효율성, 표현 일관성	Wang, X. et al.(2024)
최소 모션 기반 의사소통 가능성	눈의 움직임이나 머리 각도 변화와 같은 단일 동작만으로도 사용자가 기쁨, 슬픔, 놀라움과 같은 감정을 구분할 수 있음을 실증적으로 제시. 최소모션 기반 표현의 의사소통 가능성을 확인	감정 인식도, 정서-차원 매트릭스	Pak, H. & Pak, K.(2025)

그러나 대부분의 선행 연구는 고정된 거리 조건이나 정적인 환경을 전제로 감정 인식 또는 표현 효과를 검증해 왔으며, 실제 HRI에서 핵심적으로 작용하는 공간-거리 조건인 프록세믹스(Proxemics)를 충분히 고려하지 못하였다. Hall(1966)과 Walters et al. (2009)은 공간 배치와 거리가 사용자 해석과 신뢰 형성에 중요한 영향을 미친다고 지적하였으나, 감정 표현 관련 연구들은 여전히 표현 요소의 구현과 감정 전달 가능성에 초점을 두고 있다. 그 결과, 단순하거나 추상적인 표현이 서로 다른 거리 조건에서도 동일하게 인식되는지에 대한 실증적 검증은 여전히 제한적이다(Pak & Pak, 2025; Wang et al., 2024). 또한 최근 HRI 환경은 자율주행 로봇과 지능형 시스템이 산업 및 공공공간으로 확장됨에 따라, 사용자의 지속적인 직접 조작 없이도 시스템의 행동과 반응이 해석되는 상황이 증가하고 있다(Haney & Liang, 2024; Karakaya et al., 2025). 이때 공간-거리 정보는 시각적 표현의 인지와 해석에 영향을 미치는 기본적인 시각 조건으로 작용하며(Gibson, 1979; Cutting & Vishton, 1995), 동일한 표현이라도 거리 변화에 따라 사용자 해석이 달라질 가능성이 존재한다. 한편, 선행 연구는 단순한 움직임이 과도한 동작보다 명료한 감정 전달에 유리하며(Ekman, 1992; Breazeal, 2003), 의인화되지 않은 최소 표현만으로도 감정 인식이 가능하고(Leite et al., 2014), 기술적 구현 측면에서도 효율성을 갖는다는 점을 제시해 왔다(Miklósi et al., 2017; Wang et al., 2024). 그러나, 최소 모션 기반 표현이 거리 변화에 따라 어떻게 작동하며, 근거리와 원거리에서 동일한 기능을 수행하는지에 대한 체계적 검증은 여전히 미진하다. 따라서 HRI 환경의 확장과 인터랙션 조건의 변화에 대응하기 위해, 프록세믹스 맥락에서의 거리 변화가 최소 모션 기반 표현의 인식과 감정 해석에 어떠한 차이를 유발하는지에 대한 실증적 검증이 요구된다.

1.2. 연구 목적

이에 본 연구는 로봇 모션의 최소 단위를 ‘단일 요인(Single Factor)’으로 정의하고, 이를

‘최소 모션(Minimal Motion)’으로 개념화하여 분석의 기본 단위로 설정한다. 본 연구의 목적은 근거리와 원거리로 구분되는 공간 내 거리 조건에서, 눈의 깜빡임과 같은 최소한의 움직임만으로도 감정 전달과 의사소통 가능성이 성립하는지를 규명하는 데 있다. 동시에 동일한 최소 모션이 거리 변화에 따라 어떻게 조정되어야 사용자 인식의 안정성을 유지할 수 있는지를 검토함으로써, 거리 적응형(Minimally Adaptive) 인터랙션 모델의 기초를 마련하고자 한다.

이를 위해 본 연구는 단일 요인 기반의 유니모달(Unimodal) 조건과, 복수 요인의 결합을 기반으로 하는 멀티모달(Multimodal) 조건을 구성하였다. 분석의 초점은 두 조건 간의 단순 비교가 아니라, 사용자-로봇 간의 물리적 거리와 공간 내 배치 위치로 구성되는 프록세믹스(Proxemics) 조건이 모달리티와 결합할 때 사용자 인식에 어떠한 인터랙션 효과를 유발하는지를 규명하는 데 있다.

본 연구는 프록세믹스의 모든 하위 요소를 포괄적으로 다루기보다, 최소 모션 기반 시각 표현의 인식 차이에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 사용자-로봇 간 물리적 거리와 공간 배치에 범위를 한정하였다. 이는 본 연구의 목적이 근거리와 원거리 조건에서 동일한 표현이 어떻게 다르게 해석되는지를 검증하는 데 있으며, 선행 HRI 연구에서도 프록세믹스의 하위 요소 중 거리와 배치가 사용자 해석과 수용성에 가장 직접적으로 작용하는 변수로 보고되어 왔기 때문이다(Hall, 1966; Walters et al., 2009).

이에 따라 본 연구는 감정 인식 강도(Perceived Emotion Expression Intensity)와 의사소통 가능성(Perceived Communication Capability)을 상호 구분되는 평가 차원으로 설정하고, 두 차원이 거리 조건 및 모달리티 조건에 따라 어떠한 방식으로 다르게 작동하는지를 검증하였다. 또한 감정 판단에서 발생할 수 있는 편향을 통제하기 위해, 기준 자극으로 중립성이 검증된 감정을 설정하였다. 상기 언급된 연구 목적과 평가 구조를 바탕으로, 다음과 같이 최소 모션 표현의 기본 작동 가능성, 거리 변화에 따른 표현 조정의 필요성, 그리고 두 평가 차원의 독립적 작동 여부를 검증하기 위한 초기 가설을 설정하였다.

〈Table 2〉 Hypothesis Formulation

번호	가설
H1	근거리에서는 원거리와 달리 최소 표현만으로도 의사소통 가능성이 유의미하게 인식될 것
H2	거리 변화에 따라 표현 강도를 조절해야 의사소통 가능성과 감정 인식 강도를 안정적으로 유지할 수 있을 것
H3	의사소통 가능성과 감정 인식 강도는 서로 다른 평가 차원으로 작동할 것

또한, 유니모달과 멀티모달을 실험 독립변수로 설정한 이론적 근거는 다음과 같은 선행 연구 검토를 통해 정립되었다. 이를 표로 나타내면 다음과 같다.

〈Table 3〉 Foundational Literature for Research Aims and Variable Selection

개요	연구 내용	검증 지표	연구자(년도)
다채널을 이용한 감정 표현	감정 표현에 여러 감각 및 행동 채널을 함께 활용할 경우, 단일 채널 기반 표현에 비해 사용자가 감정을 인식하는 정확도가 높아짐. 이에 전반적인 사용자 경험과 만족도 또한 향상될 수 있음을 보고함	인식률 비교, 만족도 평가	Andronas, D. (2021)
단순 모션 활용 감정 표현 가능성	의인화된 외형이나 복잡한 움직임 없이도, 단순하고 추상적인 모션만으로 감정 상태를 전달될 수 있음을 보여줌. 감정 표현의 명료성을 유지하면서 설계 측면에서의 효율성을 시사함을 제시	감정 구분 정확도, 구현 효율성 평가	Leite, I. et al. (2014)

2. 설계

2.1. 요인

본 연구는 물리적 거리와 로봇 표현 모달리티가 사용자 지각에 미치는 효과를 검증하기 위해 2(거리) × 2(모달리티) 혼합 요인 설계(Mixed Factorial Design)를 적용하였다. 첫 번째 독립변수인 물리적 거리는 Hall(1966)의 프록세믹스 이론에 따라 근거리(60cm)와 원거리(200cm)로 구성하였으며, 학습효과를 통제하기 위해 각 거리는 서로 다른 피험자에게

무선 배정하였다(A/B Test). 두 번째 독립변수인 표현 모달리티는 구동 개입 수준에 따라 유니모달과 멀티모달로 구분하였고, 피험자 내 요인으로 측정하였다. 종속변수는 의사소통 가능성과 감정 인식 강도로 각각 설정하였다. 의사소통 가능성은 한국형 대인 의사소통 능력 척도인 GICC-15(Heo, 2003)의 일부 문항을 HRI 맥락에 맞게 수정하여 구성하였으며, 로봇 표현이 인터랙션 상황에서 피험자에게 얼마나 적절하고 명확하게 인식되는지를 리커트 척도를 통해 평가하였다.

감정 인식 강도는 로봇 표현이 전달하는 감정적 에너지의 크기를 사용자가 지각적으로 판단하는 항목으로 구성하였으며, 동일하게 리커트 척도를 통해 평가가 이루어지도록 설계하였다.

2.2. 실험 로봇

본 연구는 정적인 관찰에서 벗어나 실제 인터랙션의 맥락을 구현하기 위해, 피험자의 음성 호출에 따라 로봇이 가벽 뒤에서 등장하는 호출-응답(Call-and-Response) 프로토콜을 구성하였다. 이는 인터랙션 개시 조건에 관한 Satake et al. (2009)의 논의를 반영한 것으로, 초기 정지 위치를 사전에 노출하지 않는 블라인드 세팅을 통해, 거리·위치 정보에 대한 사전 기대 효과를 통제하였다. 표현 모달리티는 최소 모션의 효용성 검증을 위해 두 수준으로 설계되었다. 유니모달은 Mead & Mataric(2017)이 제시한 근거리 중심 시각 정보 가설을 기반으로 LED 눈 표현만을 사용하는 단일 요인 조건이다. 멀티모달은 Bethel & Murphy(2010)의 지향성 효과와 Takayama et al.(2011)의 과장(Exaggeration) 표현 원리를 반영하여, 눈·머리 회전·모자 움직임을 결합한 멀티모달 조건으로 구성하였다. 상기 구성은 안면부 요소가 신체의 다른 표현 요소에 비해 사용자 인식에 더 큰 영향을 미친다는 Russell and Fehr(1987)의 연구 결과에 근거하였다. 이에 따라 본 연구에서는 머리-얼굴 중심의 움직임 조합을 실험 조건의 핵심 요소로 설정하였다. 또한 이를 포함한 각 표현 요소의 기능적 의미를 체계적으로 정리하여 표로 제시하였다.

(Table 4) Expressive Element Design Specifications

요소	설계 요약	기능적 의미	연구자(년도)
눈 (LED Eyes)	점멸 표현 등 최소 표현	근거리 정보 제공의 핵심 단서, 최소 표현만으로도 감정 신호 인식 가능	Mead & Mataric(2017); Kim. N. & Pak. K.(2024)
머리 회전 (Head Rotation)	약 30° 회전	방향성·의도성 전달, 맥락에 따라 최소 행동도 다양한 인터랙션 신호로 인식됨	Bethel & Murphy(2010); Mechtild Käufer(2011)
모자 움직임 (Hat Motion)	상단부 들림·반동	과장(Exaggeration) 효과를 통한 감정 신호 명료화	Takayama et al.(2011)
유니모달 조건 (Unimodal)	단일 요소만 사용	최소 모션의 표현 가능성 검증	Pak, H. & Pak. K.(2025)
멀티모달 조건 (Multimodal)	LED 눈 + 머리 + 모자 조합	다채널 입력에 따른 사용자 인식 변화 비교	Andronas, D.(2021); Leite, I. et al.(2014)

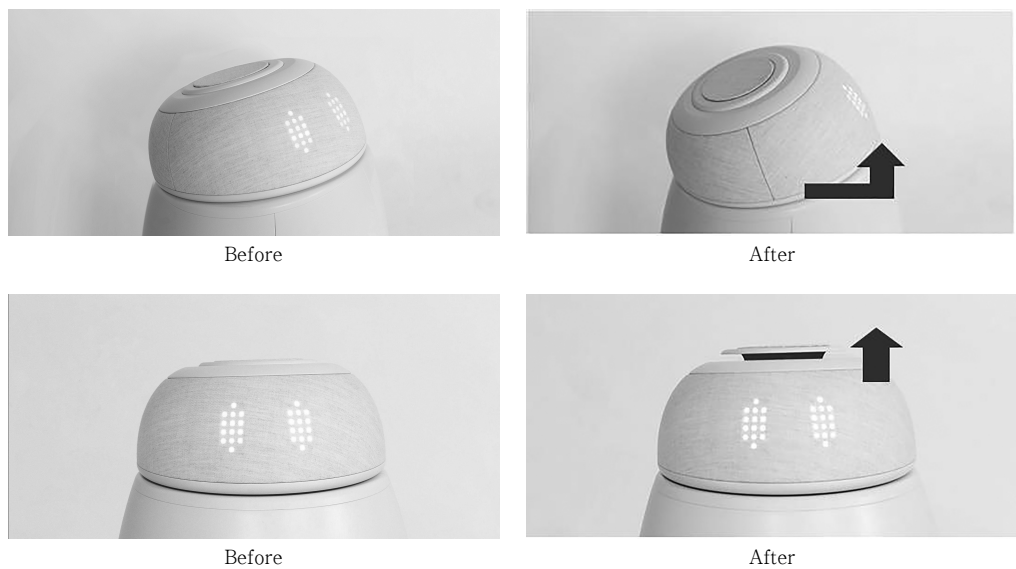
본 연구에 사용된 실험 로봇인 <Figure 1>는 둘레 400mm, 높이 650mm의 크기를 가지며, 바닥면에 캐스터를 통해 전-후 방향으로 300mm/s의 속도로 이동할 수 있다. 로봇은 LED로 구성된 눈, 머리 회전, 상단부 모자 움직임을 단계적으로 조합할 수 있는 구조를 가진다<Figure 2>. 이를 통해 로봇은 최소 모션 표현과 복합 모션 표현을 동일한 물리적 대상 내에서 비교할 수 있도록 설계되었다.

표현 설계에서 LED 눈은 기본 표현 요소로 설정하였으며, 이는 감정 표현에서 눈이 사용자 인식에 가장 직접적으로 작용하는 요소로 보고되어 왔기 때문이다(Mead & Mataric, 2017; Kim & Pak, 2024). 호출에 대한 응답 신호로서의 눈 깜빡임은 인간의 자발적 눈 깜빡임 지속 시간 범위인 0.1-0.4s 내에서 비교적 짧은 값인 0.2s로 설정하였다(Proctor & Proctor, 2021). 이는 즉각적인 주의 환기 신호로 인식될 수 있는 설계 선택이다. 또한, 대기 상태에서는 생동감을 유지하기 위해 1.0-2.0초 범위에서 무작위 깜빡임을 지속적으로 적용하였다. 다음으로, 동작 지속 시간의 차이는 사용자의 시간 지각에 영향을 미칠 수 있다는 점을 고려하여(Wittmann, 1999), 머리 회전과 모자 들어 올림 동작의 지속 시간은 모

두 2.0초로 통일하였다. 이는 특정 시간이 보편적으로 최적이라는 의미라기보다, 동작 간 시간 조건을 동일하게 유지함으로써 모달리티 차이 외의 시간 변수 개입을 통제하기 위한 설계이다. 즉, 본 연구에서 2.0초는 최적 시간의 제안이 아니라, 비교 가능한 실험 조건을 확보하기 위한 통일된 값으로서 사용되었다.



〈Figure 1〉 Experimental Robot



〈Figure 2〉 Emotional Expression Modalities of the Experimental Robot

2.3. 측정 방법

로봇의 물리적 거리와 표현 모달리티 변화에 따라 나타나는 사용자 지각 차이를 분석하기 위해, 본 연구는 정량적 평가와 정성적 분석을 병행하였다. 측정은 감정 인식 중립 안정성, 의사소통 가능성, 감정 인식 강도의 세 영역으로 구성되며, 각 영역의 세부 측정 구조는 <Table 5>에 요약하였다. 이 세 측정 영역은 각각 기준 감정의 안정성 확인, 최소 표현의 감정 전달 및 의사소통 가능성 검증, 그리고 거리 및 모달리티 변화에 따른 감정 인식 강도와 의사소통 가능성의 차별적 작동 양상 분석이라는 연구 목적을 바탕으로 설정된 가설 H1-H3에 대응하도록 구성하였다.

(Table 5) Measurement Metrics and Evaluation Methods

개요	하위 요인	설문 내용	연구자(년도)
감정 인식 중립성	감정(놀라움)	로봇이 놀라는 반응을 보였을 때, 어떤 이유라고 느끼셨나요? (가장 가까운 단어를 선택해 주세요) 표시/ 감지/ 경계	Russell, J.(1997); Pak, H. & Pak, K.(2025)
의사소통 가능성	근접성 및 공간적 인터랙션	로봇이 정지한 위치가 나를 배려한다고 느껴졌다	Heo, K. (2003); Rubin, R. & Martin, M. (1994)
		로봇이 의사소통하기에 너무 가깝다고 느꼈다	
	로봇이 의사소통하기에 너무 멀다고 느꼈다		
최적 표현 및 전달력	동작이 복잡하거나 과하지 않고 의사소통 의도를 간결하게 표현했다	만약 주변에 사람이 움직이거나 소리가 있었다면, 반응이 전달되기 어려울 것 같다	
	눈으로만 놀란 표정을 보여주는 것만으로도 감정 표현이 충분하다고 느껴졌다		
감정 인식 강도	최소 모션 중심 감정 강도 평가	놀란 눈만 표현했을 때 보다 감정이 더 강하게 느껴졌다	Lohse, M. et al.(2014); DiSalvo, C. et al. (2002)
		머리 회전이 감정 표현에 도움이 되었다	
		놀란 눈+머리 회전에 '모자를 들어 올리는 표현'을 추가 했을 때 감정이 더 강하게 느껴졌다	
		표현의 요소가 많아서 다소 과하다고 느껴졌다	

2.3.1. 감정 인식 중립 안정성

표현 설계의 신뢰성과 타당도를 확보하기 위해, 본 연구는 감정 자극으로 놀라움(Surprise)을 사용하였다. Russell(1997)은 놀라움을 정서 차원(Valence-Arousal) 공간에서 특정 정서 방향성이 비교적 약한 감정으로 제시한 바 있으며, 이는 기쁨·슬픔·분노와 같이 명확한 정서 방향을 갖는 감정에 비해 초기 인터랙션 상황에서 기준 자극으로 활용하기에 적합하다는 장점이 있다. 또한 Pak & Pak(2025)의 HRI 맥락 연구에서도 놀라움이 조건 변화에도 비교적 안정적으로 인식되는 감정 범주임이 확인되었다. 따라서 본 연구는 놀라움을 초기 인터랙션 상황에서 정서 방향성이 비교적 덜 고정된 감정으로 보고, 최소 모션 기반 표현이 거리와 모달리티 조건에 따라 어떻게 해석되는지를 비교하기 위한 기준 자극으로 설정하였다.

이에 본 연구는 근·원거리 및 표현 모달리티 변화에도 놀라움이 동일한 감정 범주로 인식되는지를 확인함으로써, 감정 평가 지표의 신뢰성과 구성 타당성을 확보하고 감정 판단의 왜곡을 최소화하고자 하였다. 이때, <Table 5>에 제시된 ‘표시’, ‘감지’, ‘경계’는 로봇의 놀라움 반응을 사용자가 어떠한 수준의 신호로 해석하는지를 구분하기 위한 응답 범주이다. 여기서 ‘표시’는 단순한 반응의 제시, ‘감지’는 사용자가 반응을 인식한 상태, ‘경계’는 해당 반응이 주의 환기 또는 경계 신호로 해석된 상태를 의미한다.

2.3.2. 의사소통 가능성

의사소통 가능성은 호출-응답 상황에서 로봇의 반응이 사용자에게 ‘인터랙션’으로서 적절하게 기능하는지를 평가하는 지표이다. 본 연구는 초기 실험 단계로서, 기존 GICC-15 척도 중 프록세믹스 조건에 직접적인 영향을 받는 문항만을 선별하여 측정 구조를 간소화하였다. 이에 따라 의사소통 가능성은 ‘근접성 및 공간적 인터랙션’, ‘최적 표현 및 전달력’의 하위 요인으로 구성된 총 5개 문항으로 측정되었으며, 모든 조건에서 동일한 문항 체계를 적용하였다.

2.3.3. 감정 인식 강도

감정 인식 강도(Perceived Emotion Expression Intensity)는 거리와 표현 모달리티 조건에 따라 사용자가 지각하는 놀라움 감정의 강도를 평가하기 위한 지표로, 총 5개 문항으로 구성하였다. 피험자는 유니모달 및 멀티모달 표현을 근·원거리 조건에서 각각 경험한 후, 5점 리커트 스케일(‘전혀 아니다’ - ‘매우 그렇다’)을 통해 감정 강도를 보고하였다.

본 연구는 초기 실험 단계에서 조건별 자극에 대한 사용자의 주관적 지각 차이를 정량화하는 데 목적이 있으며, 리커트 척도는 동일한 응답 체계 내에서 조건 간 강도 차이를 비교하기에 적합한 방식으로 판단되어 적용하였다. 측정 문항은 최소 모션 기반 표현이 감정 전달

에 충분한지, 그리고 표현 요소의 추가가 감정 강도 인식에 어떠한 변화를 유발하는지를 검토하는 데 초점을 두었다. 또한 본 연구는 반복적 인터랙션이 아닌 초기 호출-응답 상황을 전제로 설계되었으므로, 감정 인식 강도에 대한 해석은 초기 인상 단계에서 나타나는 지각적 반응에 한정하였다.

2.3.4. 심층 인터뷰

정량적 평가만으로는 프록세믹스 조건과 표현 모달리티의 결합이 사용자에게 어떻게 인식되고 해석되는지를 충분히 설명하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 정량 결과의 해석을 확장하기 위한 방법으로 심층 인터뷰(In-depth Interview)를 병행하였다. 이는 정량 분석 결과가 나타난 배경적·인지적 이유를 파악하고, 사용자가 판단 과정에서 어떠한 단서를 활용하는지를 탐색하기 위한 목적을 가진다.

인터뷰 문항은 정량 평가 차원과 대응되도록 구성하였다. 구체적으로, ‘응답성 및 인식 확산’은 로봇의 반응이 인터랙션으로서 적절한 응답으로 인식되는지를 확인하기 위한 항목으로 설정하였다. ‘근접성 및 공간적 인터랙션’과 ‘최적 표현 및 전달력’은 거리와 모달리티 변화가 의사소통 가능성에 미치는 영향을 탐색하기 위한 하위 범주로 구성하였다. 또한 ‘최소 모션 중심 감정 강도 평가’는 유니모달 기반 최소 표현이 감정 인식 강도에서 유효한 판별력을 가지는지를 검토하기 위한 항목으로 설정하였다. 관련 인터뷰 항목과 구성은 아래의 표로 정리하였다.

〈Table 6〉 Post-Interaction In-Depth Interview Questions

개요	하위 요인	인터뷰 문항	측정 목적
감정(놀라움) 인식 중립성 검증	응답성 및 인식 확산	1. 로봇이 나를 인식하고 있다는 확신이 드셨나요?	로봇의 응답이 사용자에게 ‘응답하고 있다’는 인터랙션 의도로 전달되는지 확인
의사소통 가능성	근접성 및 공간적 인터랙션	2. 로봇이 멈춰 선 거리가 어떤 느낌을 주었나요?	거리 조건(60/200cm)이 사용자의 심리적 편안함·거리감·배려감에 미치는 영향을 탐색
		3. 로봇이 다른 거리(더 가깝거나 멀리)에서 반응했다면 느낌이 어떻게 달라졌을 것 같나요?	거리 변화가 의사소통 지각의 적절성에 미치는 영향을 검토
	최적 표현 및 전달력	4. 세 표현 중 응답처럼 느껴지지 않은 표현이 있었다면, 어떤 표현이며 그 이유는 무엇인가요?	표현의 명확성·과잉 여부·최소 표현의 충분성 평가
		5. 로봇의 반응이 주변 상황과 관계없이 분명히 전달되었다고 생각하시나요?	최소·멀티모달 표현이 환경 요인과 무관하게 전달력을 유지하는지 검증
감정 인식 강도	최소 모션 중심 감정 강도 평가	6. 간단한 표현(눈의 움직임)만으로도 로봇이 의사소통하려는 의도가 충분히 느껴졌나요?	유니모달(눈) 기반 최소 모션이 감정 강도 인식에 충분한 정보를 제공하는지 평가

3. 연구 방법

3.1. 환경

본 실험은 외부 환경 요인의 영향을 최소화하기 위해 소음과 조도가 통제된 독립된 실험실에서 수행되었다. 소음 수준은 55dB 이하로 유지하였으며(Berglund et al., 1999), 로봇의 LED 눈 표현은 색상에 따른 인지 편향(color bias)을 방지하기 위해 백색 기반의 중립 조명을 사용하였다(Wilms & Oberfeld, 2018).

조도는 눈 표현이 지각적으로 과도하게 강조되거나 저하되지 않도록 동일 수준을 유지하였다(DiSalvo, 2002). 또한 로봇은 피험자에게 사전 시각 정보나 위치 정보가 노출되지 않도록 가벽 뒤(Hidden Zone)에 배치하였으며, 이는 등장 시점과 거리 정보에 대한 사전 예측을 통제하기 위한 설계이다.

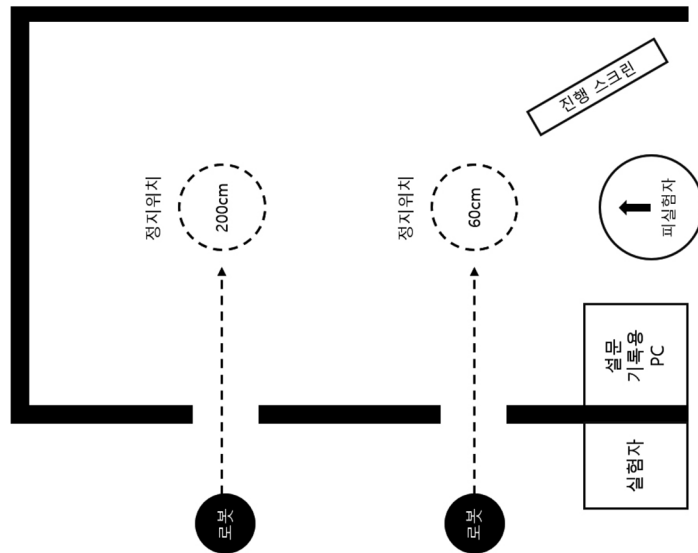
또한 감정 자극은 앞서 2.3.1에서 설명된 바와 같이 중립 감정인 ‘놀라움’으로 통일하였으며(Russell, 1997), 선행 연구(Pak & Pak, 2025)와 파일럿 테스트를 통해 해당 표현이 감정적 선호나 거부감에 따른 편향을 최소화하는 것으로 확인하였다. 상기 언급된 환경적 통제는 실험의 구성 타당도(Construct Validity)를 확보하려는 조치이다.

감정 자극은 앞서 2.3.1에서 설명된 바와 같이 중립 감정인 ‘놀라움’으로 통일하였으며(Russell, 1997), 선행 연구(Pak & Pak, 2025)와 파일럿 테스트를 통해 해당 표현이 감정적 선호나 거부감에 따른 편향을 최소화하는 것으로 확인하였다. 이러한 환경적 통제는 실

험의 구성 타당도(Construct Validity)를 확보하기 위한 조치이다.

거리 조건은 Hall(1966)의 프록세믹스 이론을 참고하여 설정하였으나, 이를 인간-인간 인터랙션에서 제시된 절대적 거리값으로 그대로 적용하기보다, 가정용 로봇의 사용 맥락과 실험 시나리오를 반영하여 조정하였다. Hall은 개인 거리(Personal Distance)와 사회적 거리(Social Distance)를 각각 1.5-4 feet와 4-12 feet 범위로 제시하고, 이를 close phase와 far phase로 구분하였다(Hall, 1966, pp. 119-123). 다만 해당 구분은 특정 문화권의 표본을 기반으로 한 분류라는 점에서 일반화에 한계가 있다(Hall, 1966, p. 116).

이에 본 연구에서는 프록세믹스를 절대적 기준이 아닌 해석적 참조 틀로 활용하고, 사용자-로봇 간 거리 조건을 60cm와 200cm로 설정하였다. 본 실험은 사용자가 로봇을 호출했을 때 시야 밖의 위치에서 로봇이 출현하는 상황을 전제로 하였으며, 두 거리 조건은 가정 내 호출-응답 맥락에서 최소 모션 기반 시각 표현이 거리 변화에 따라 어떻게 다르게 인지되고 해석되는지를 비교하기 위한 근거리 및 원거리 조건으로 정의하였다. 구체적으로 60cm는 비교적 직접적인 시각 인식이 가능한 조건이며, 200cm는 동일한 표현에 대해 공간적 배치와 거리 정보에 따라 해석 조건이 달라질 수 있는 거리로 설정하였다. 관련 내용은 <Figure 3>에 제시하였다.

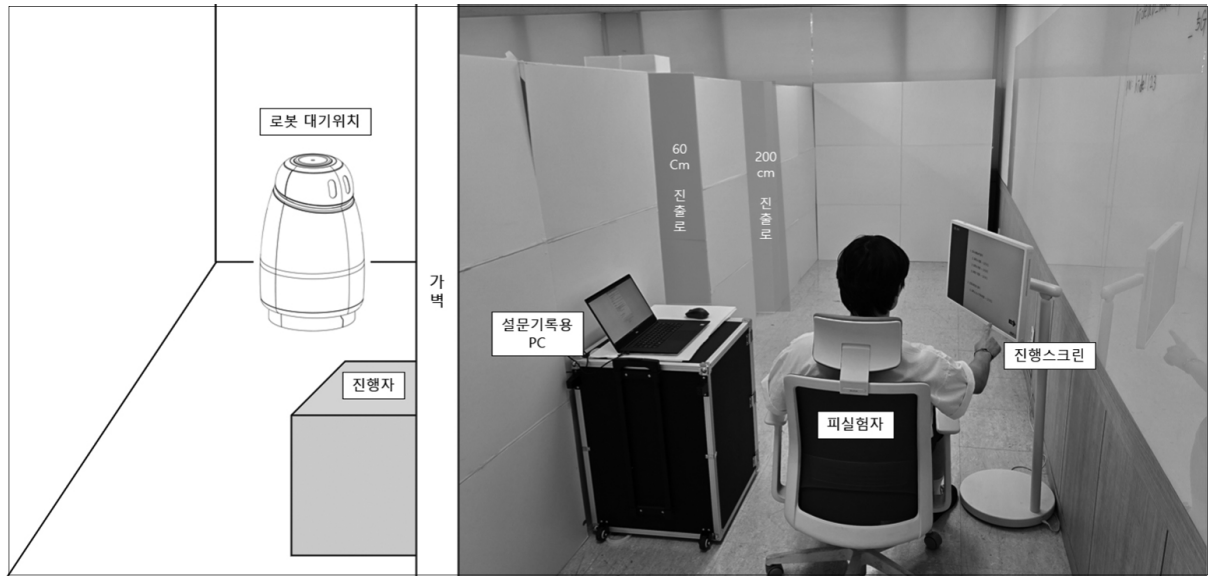


<Figure 3> Top-View Schematic of the Experimental Setup

실험은 가벽을 기준으로 좌측에 실험 진행자가 로봇을 제어하는 공간을, 우측에 피험자가 위치하는 공간을 분리하여 구성하였다. 피험자는 진행 스크린을 직접 조작하며 실험에 참여하도록 설계하였으며, 이를 통해 실험자의 존재가 피험자의 반응에 미치는 직접적 영향을 최소화하였다. 피험자는 연구 절차에 따라 로봇을 자발적으로 호출하고, 설문 문항에 대한 응답을 전용 PC에 기록하였다. 해당 구성은 단순한 거리 조작을 넘어 공간적 맥락을 포함한 프록세믹스 조건을 반영하기 위한 설계이다. 특히 본 실험은 가정 환경에서의 호출-응답 상황을 모사하기 위해, 로봇이 거실에서 방으로 이동하여 피험자에게 접근하는 형태의 공간 시나리오를 적용하였다. 관련 구성은 <Figure 4>에 나타내었다.

3.2. 절차

본 실험은 피험자 1인당 약 20분 내외로 진행되었으며, 주의 분산을 방지하기 위해 모든 절차는 동일한 순서로 통제하였다. 피험자가 착석하면 실험은 “로봇의 이름(Hobbi)을 자연스럽게 불러보세요”라는 안내와 함께 시작되었다. 피험자가 육성으로 호출하면(Voice Trigger) 로봇은 이를 인지한 뒤 가벽 뒤에서 출현하여 피험자 정면까지 이동하였다. 이동 속도에 따른 영향을 배제하기 위해, 로봇은 모든 조건에서 동일한 이동시간을 유지한 상태

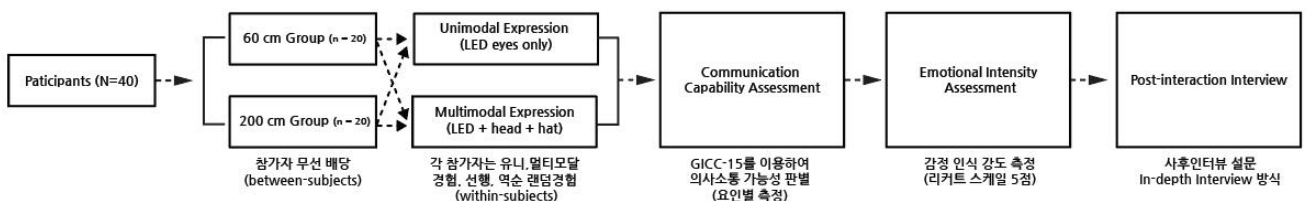


〈Figure 4〉 Scene from the Actual Experiment

로 무작위로 설정된 정지 위치에 도달하도록 하였다.

피험자는 무선배정에 따라 60cm 집단(n=20)과 200cm 집단(n=20)으로 구성되었으며, 각 집단 내에서는 표현 모달리티 제시 순서를 ‘유니모달 → 멀티모달’과 ‘멀티모달 → 유니모달’로 다시 무선 배정하여 각각 10명씩 배치하였다. 피험자는 20대 대학생으로 구성하였으며, 연령에 따른 지각 차이를 최소화하기 위해 비교적 동질적인 집단으로 한정하였다. 또한 성별 및 전공(디자인/기계공학) 배경이 특정 조건에 편중되지 않도록 남녀 비율과 전공 비율을 동일하게 맞추는 뒤 무선 배정하였다. 특히 전공 배경은 로봇의 시각 표현과 반응을 해석하는 방식에 영향을 미칠 가능성이 있으므로, 디자인 전공과 기계공학 전공을 동일 비율로 배정하여 배경 변인의 개입을 최소화하고자 하였다. 모든 피험자는 배정된 거리 조건에서 두 모달리티를 모두 경험하였으며, 각 자극 간에는 3-5s의 시간차를 두어 표현 구분이 명확히 유지되도록 하였다.

표현 관찰이 완료되면 피험자는 태블릿을 통해 의사소통 가능성과 감정 인식 강도를 평가하였다. 이후 사후 인터뷰 설문지를 수행한 뒤 실험을 종료하였다. 실험 절차의 전체 구조는 아래 도식에 나타내었다.



〈Figure 5〉 Schematic of the Experimental Procedure

3.3. 분석

본 연구는 기준 감정으로 설정된 놀라움을 중심으로, 프록세믹스 조건(근·원거리)과 표현 모달리티(유니모달/멀티모달)가 사용자 지각에 미치는 영향을 분석하였다. 분석은 두 종속 변수인 의사소통 가능성(Perceived Communication Capability)과 감정 인식 강도(Perceived Emotion Expression Intensity)를 중심으로 수행되었다.

정량 분석에서는 거리 조건과 모달리티 조건의 조합에 따라 두 종속변수가 어떻게 평가되는지를 비교하였다. 의사소통 가능성은 근접성 및 공간적 인터랙션과 표현의 전달력 차원에서 분석하였으며, 감정 인식 강도는 최소 모션 기반 표현과 표현 요소의 추가에 따른 지각된 감정 강도의 차이를 중심으로 검토하였다. 또한 두 지표가 동일한 지각 차원으로 작동하지 않을 가능성을 고려하여, 거리 조건에 따라 의사소통 가능성과 감정 인식 강도의 작동

양상이 어떻게 분리되어 나타나는지를 함께 분석하였다.

통계 분석은 표본 수와 분포 특성을 고려하여 모수 검정과 비모수 검정을 병행하였다. 거리 조건 비교는 집단별 20명을 기준으로 수행되었으며, t-test와 Mann-Whitney U 검정을 함께 적용하였다. 또한 효과 크기를 확인하기 위해 Cliff's δ 를 산출하였고, 측정 항목의 신뢰성은 Cronbach's α 를 통해 검증하였다.

정성 분석에서는 사후 인터뷰 자료를 활용하여 정량 결과의 해석을 보완하였다. 인터뷰 분석은 거리 조건에 따른 심리적 거리감, 최소 표현의 충분성, 표현의 명확성, 그리고 로봇의 응답성 인식과 관련된 진술을 중심으로 수행되었으며, 이는 정량 분석에서 나타난 경향이 어떠한 인식적 단서에 기반해 형성되었는지를 해석하는 근거로 활용되었다.

4. 결과

세부 검증 결과는 감정 인식 중립성, 의사소통 가능성, 감정 인식 강도, 사후 인터뷰 순으로 4.1-4.4에 제시하였다.

4.1. 감정 인식 중립성

본 연구는 Russell(1997)의 감정 순환모형을 바탕으로 놀라움(surprise)을 기준 감정으로 설정하고, 응답 편향을 방지하기 위해 감정명을 제시하지 않고 '표시-감지-경계'의 세 범주로 감정 인식 구조를 간접 측정하였다.

거리(60cm, 200cm)와 모달리티(유니모달, 멀티모달)에 따른 감정 선택 분포를 카이제곱(χ^2) 및 표준화 비교 검정(z-test)로 검증한 결과, 모든 조건에서 순위 구조는 통계적으로 차이가 나타나지 않았다. 이는 놀라움이 조건 변화와 독립적으로 일관된 감정 구조를 형성함을 보여주며, 기준 감정으로서의 중립성이 재확인된 것이다.

또한 네 조건을 통합한 빈도 분석에서도 동일한 위계(표시>감지>경계)가 유지되었으며, 이는 감정 판단 구조가 전반적으로 안정적임을 의미한다. z-값은 해석 용이성을 위해 p-value로 변환하여 제시하였다. 결과는 <Table 7>에 정리하였다.

<Table 7> Reliability and Validity Assessment of Expression Design

정량 결과(1·2·3순위)	감정 선택 구조 해석(정량 기반)
A/B 유의 차이 없음 / $\chi^2=0.69$ p = 0.65 / 1.00 / 0.53	감정 선택 구조 매우 유사. 거리 변화가 감정 판단에 영향 없음 감정 구조 동일. '표시>감지>경계', 사용자들은 거리 차이를 감정적으로 구분하지 않음
A/B 완전히 동일한 빈도 / $\chi^2 = 1.00$ p = 1.00 (모든 항목 동일)	감정 선택 구조 완전히 동일. 거리 변화가 놀라움 판단에 영향 전혀 없음 '표시 → 감지 → 경계' 단계가 그대로 유지. 표현 조건과 거리 조건 모두 감정 선택에 영향 없음

놀라움 - 근-원거리 조건을 기본으로 한 모달리티간 인식차이(A/B)는 다음과 같다.

<Table 8> Surprise Expression Across Distance Conditions (A/B)

대상	유니모달(A/B)비교	멀티모달(A/B)비교
응답 문항	로봇이 놀라는 반응을 보였을 때, 어떤 이유라고 느끼셨나요? (가장 가까운 단어를 선택해 주세요) 표시 / 감지 / 경계	로봇이 놀라는 반응을 보였을 때, 어떤 이유라고 느끼셨나요? (가장 가까운 단어를 선택해 주세요) 표시 / 감지 / 경계
빈도순위	표시(4)≥감지(4)>경계(2)	표시(5)>감지(3)>경계(2)
카이제곱(χ^2)	0.69	1.00
Z-test(1순위기준)	0.65	1.00
Z-test(2순위기준)	1.00	1.00
Z-test(3순위기준)	0.53	1.00

4.2. 의사소통 가능성

근-원거리 조건을 기본으로 한 모달리티간 인식 차이(A/B)를 정리하였다.

4.2.1. 의사소통 가능성_유니모달

(Table 9) Perceived Communication Capability - GICC, Unimodal

GICC 유니모달	근접성 및 공간적 인터랙션(프록세믹스)			최적표현(최소표현), 전달력	
	역지사지	사회적긴장완화1	사회적긴장완화2	최소모션으로 소통가능성(효율성)	잡음통제력
코드	B	C-1	C-2	G	J-1
질문	로봇이 정지한 위치가 나를 배려한다고 느껴졌다	로봇이 의사소통하기에 너무 가깝다고 느꼈다	로봇이 의사소통하기에 너무 멀다고 느꼈다	동작이 복잡하거나 과하지 않고, 의사소통 의도를 간결하게 표현했다	만약 주변에 사람이 움직이거나 소리가 있었다면, 반응이 전달되기 어려울 것 같다
t-test(p-value)	0.15	0.61	0.01	0.64	0.30
Mann-Whitney U	69.00	48.00	19.00	48.00	35.00
MW p-value	0.15	0.90	0.01	0.90	0.21
Cliff's δ	0.38	-0.04	-0.62	-0.04	-0.30
Cronbach's α	0.73	0.45	0.74	-0.63	-0.38

4.2.2. 의사소통 가능성_멀티모달

(Table 10) Perceived Communication Capability - GICC, Multimodal

GICC 멀티모달	근접성 및 공간적 인터랙션(프록세믹스)			최적표현(최소표현), 전달력	
	역지사지	사회적긴장완화1	사회적긴장완화2	최소모션으로 소통가능성(효율성)	잡음통제력
코드	B	C-1	C-2	G	J-1
질문	로봇이 정지한 위치가 나를 배려한다고 느껴졌다	로봇이 의사소통하기에 너무 가깝다고 느꼈다	로봇이 의사소통하기에 너무 멀다고 느꼈다	동작이 복잡하거나 과하지 않고, 의사소통 의도를 간결하게 표현했다	만약 주변에 사람이 움직이거나 소리가 있었다면, 반응이 전달되기 어려울 것 같다
t-test(p-value)	0.00	1.00	0.02	0.85	1.00
Mann-Whitney U	86.00	50.00	20.50	54.50	54.00
MW p-value	0.00	1.00	0.02	0.74	0.76
Cliff's δ	0.72	0.00	-0.59	0.09	0.08
Cronbach's α	0.19	-4.00	-2.52	-0.19	-0.07

의사소통 가능성을 검증하기 위한 GICC에서 유니모달 표현은 t-test 혹은 MW에서 1개의 문항에서 유의도가 관찰되었고, 5개 문항 중 3개의 문항이 Cliff's δ 에서 강한 효과 크기와 중간 효과를 보였다. Cronbach's α 를 통한 신뢰도($\alpha \geq .70$)는 2개 문항에서 확인할 수 있었으며, 1개의 문항은 가능성을 보였다. 멀티모달 표현은 t-test 혹은 MW에서 2개의 문항에서 유의함이 관찰됐고, Cliff's δ 또한 동일 문항에서 강한 효과 크기를 나타냈다. 신뢰도($\alpha \geq .70$)는 기준을 충족한 문항을 발견하기 어려웠다.

4.3. 감정 인식 강도

근-원거리 조건을 기본으로 한 모달리티간 인식 차이(A/B)는 다음과 같다.

4.3.1. 감정 인식 강도_유니모달

(Table 11) Perceived Emotion Expression Intensity - Unimodal

감정 강도-유니모달	E11	E12	E13	E14	E15
질문	눈으로만 놀란 표정을 보여주는 것만으로도 감정 표현이 충분하다고 느껴졌다	놀란 눈만 표현했을 때 보다 감정이 더 강하게 느껴졌다	머리 회전이 감정 표현에 도움이 되었다	놀란 눈+머리 회전에 '모자를 들어올리는 표현을 추가'했을 때 감정이 더 강하게 느껴졌다	표현의 요소가 많아서 다소 과하다고 느껴졌다
t-test(p-value)	0.66	0.42	0.14	0.54	0.54
Mann-Whitney U	55.00	63.00	31.00	42.50	58.00
MW p-value	0.72	0.31	0.14	0.58	0.56
Cliff's δ	0.10	0.26	-0.38	-0.15	0.16
Cronbach's α	-0.20	-0.39	-0.62	-2.61	-0.89

4.3.2. 감정 인식 강도_멀티모달

(Table 12) Perceived Emotion Expression Intensity - Multimodal

감정 강도-멀티모달	E11	E12	E13	E14	E15
질문	눈으로만 놀란 표정을 보여주는 것만으로도 감정 표현이 충분하다고 느껴졌다	놀란 눈만 표현했을 때 보다 감정이 더 강하게 느껴졌다	머리 회전이 감정 표현에 도움이 되었다	놀란 눈+머리 회전에 '모자를 들어올리는 표현을 추가'했을 때 감정이 더 강하게 느껴졌다	표현의 요소가 많아서 다소 과하다고 느껴졌다
t-test(p-value)	0.17	0.48	0.36	1.00	0.71
Mann-Whitney U	34.00	60.00	62.00	50.00	57.00
MW p-value	0.22	0.46	0.34	1.00	0.61
Cliff's δ	-0.32	0.20	0.24	0.00	0.14
Cronbach's α	0.53	0.07	0.85	0.55	-0.28

감정 인식 강도 분석에서 유니모달 조건은 t-test 혹은 MW에서 통계적 유의성이 확보되지 않았다. 그러나 Cliff's δ 에서 2개의 문항이 작은-중간 효과에 해당하는 값을 보였다. 신뢰도($\alpha \geq .70$)는 기준을 충족한 문항을 발견하기 어려웠다. 멀티모달 조건은 t-test 혹은 MW에서 통계적 유의성이 확보되지 않았다. 그러나 Cliff's δ 에서 3개의 문항이 작은-중간 효과에 해당하는 값을 보였다. 신뢰도($\alpha \geq .70$)는 1개 문항에서 확인할 수 있었으며, 2개의 문항은 가능성을 보였다.

4.4. 사후 인터뷰

사후 인터뷰 문항은 본 연구의 주요 평가 축과 대응하도록 구성하였다. 질문 1은 표현 설계의 타당성을 확인하기 위해 '놀라움' 표현의 해석 여부를 검증하도록 설계되었다. 질문 2와 3은 의사소통 가능성의 하위 요인인 근접성과 공간적 인터랙션과 연계되며, 질문 4와 5는 최적 표현 및 전달력 평가와 대응한다. 감정 인식 강도는 질문 6을 통해 확인하였다. 각 문항의 구성은 다음과 같다.

(Table 13) Post-Interview Question Structure

구분	사후 인터뷰 질문
부름에 대한 확신	1. 로봇이 나를 인식하고 있다는 확신이 드셨나요?
근접성 및 공간적 인터랙션(프록세믹스)	2. 로봇이 멈춰 선 거리가 어떤 느낌을 주었나요? (ex. 편안함, 거리감, 배려 등) 3. 로봇이 다른 거리(더 가깝거나 멀)에서 반응했다면, 기분이 어떻게 달라졌을 것 같나요?
최적표현(최소표현), 전달력	4. 세 가지 표현 중 부름에 응답했다고 느껴지지 않은 표현이 있었다면, 어떤 표현이었으며 그 이유는 무엇인가요? 5. 로봇의 반응이 주변 상황에 관계없이 분명히 전달되었다고 생각하시나요?
감정 표현 강도	6. 간단한 표현(눈의 움직임)만으로도 로봇이 의사소통 하려는 의도가 충분히 느껴졌나요?

4.4.1. 표현설계 타당도(놀라움)

사후인터뷰의 1번 질문에 해당하는 것으로 정량평가와 함께 분석해 결론으로 내었다.

(Table 14) In-depth Interview, Validity of the Expression Design (Surprise)

구분	모달리티	거리 조건	사후 인터뷰 응답 요약
질문1	유니모달	60	<ul style="list-style-type: none"> 갑작스러운 접근/반응 → 즉각적 놀람·주의 환기 적정 거리 → 심리적 안정·수용 부드러운 표현 → 정서적 일관성·조화 멀거나 불명확함 → 의도 해석 모호 → 불확실성 증가 과도 응시 → 정서적 압박·회피
		200	<ul style="list-style-type: none"> 반응 인식 → 실시간 인터랙션처럼 수용 모자 올림 제스처 → 의미 해석 과정 유도 눈 깜빡임만으로는 → 의도 파악 어려움 일부 참여자 → 패턴 기반 자동화로 인식 제한된 표현 → 감정 전달 한계
	멀티모달	60	<ul style="list-style-type: none"> 갑작스러운 접근/반응 → 즉각적 놀람·환기 적정 거리 → 안정·인터랙션 수용 부드러운 표현 → 정서적 일관 유지 멀거나 불명확함 → 의도 모호성 증가 과도 응시 → 압박·회피 행동
		200	<ul style="list-style-type: none"> 접근·시선 → 의도적 교류로 해석 시각적 움직임 → 정서적 확신 형성 거리 조정 → 관계적 균형 탐색 시선 방향 → 인터랙션 의도 단서 해당 거리 → 반응 존재 인지 구간

4.4.2. 의사소통 가능성_유니모달

사후인터뷰의 2,3번 그리고 4,5번 질문에 해당하는 것으로 정량평가와 함께 분석하여 결론으로 내었다.

<Table 15> In-depth Interview, Perceived Communication Capability - Unimodal

구분	프록세믹스	60cm 사후 인터뷰 응답 요약	200cm 사후 인터뷰 응답 요약
질문2	근접성·공간 인터랙션	<ul style="list-style-type: none"> • 갑작스러운 접근 → 로봇에 대한 반사적 정서 반응·주의 전환 • 적정 거리 확보 → 심리적 안정·정서적 수용 • 부드러운 반응 전달 → 거리·정서 조화로 완결 인터랙션 • 먼 거리 → 의도 불명확으로 의미 추론 실패 • 과도한 접근·시선 압박 → 정서적 거리감·소통의 질 저하 	<ul style="list-style-type: none"> • 더 가까이 오길 바라는 의도 • 가까운 거리 유지 → 배려·존중으로 해석 • 다소 먼 거리 → 전시형·비일상성 느낌 • 멀어지면 편안하나 몰입도 감소 • 맥락 상황에 따라 먼 거리 = 배려하는 것으로 느껴짐
질문3		<ul style="list-style-type: none"> • 돌발 접근 → 강한 주의 전환 • 적절 거리 유지 → 안정감·신뢰 형성 • 부드러운 반응 → 최적의 인터랙션 형성 • 먼 거리 → 의도 불확실성 • 과도한 접근 → 시선 압박·심리적 후퇴 	<ul style="list-style-type: none"> • 시선 기반 인식 • 고개·신체 방향으로 주의 끌기 • 눈 그래픽의 추상성으로 인한 해석 혼동 • 음성·텍스트 부재 → 의사소통 불완전성 • 부드러운 반응 → 초기 친근감 형성
질문4	최적 표현·전달력	<ul style="list-style-type: none"> • 예기치 않은 접근 → 로봇 인식·주의 전환 • 적정 거리 → 안정·신뢰 형성 • 부드러운 표현 → 신뢰·인터랙션 경험 가능 • 먼 거리에 따른 불명확 의도 → 해석 모호함 • 표현이 강한 경우 → 심리적 압박·회피 	<ul style="list-style-type: none"> • 응시 기반 교감 • 명확한 신호 전달 → 해석 확신 • 눈·표정만으로는 의도 불명확 • 단순 시각 표현 → 감정 신호 다양성의 한계 • 더 많은 표현을 기대
질문5		<ul style="list-style-type: none"> • 돌발 접근 → 놀람, 경계에 따른 주의전환 • 적절 거리 유지 → 신뢰, 안정·긍정 • 부드러운 표현 → 조화된 감정 흐름 완성 • 신호 불명확 → 해석 어려움 • 과도한 응시 → 긴장·정서적 불편감 	<ul style="list-style-type: none"> • 응시·시선이 상호 인식 가능성의 핵심 단서 • 자연스럽게 명확한 반응 → 의사소통 완결성 • 로봇의 응시 → 자신을 인식하는 존재 확신 • 단일 표현의 한계 → 감정 해석 부족 • 다양한 감정 표현 확장 요구

4.4.3. 의사소통 가능성_멀티모달

사후인터뷰의 2,3번 그리고 4,5번 질문에 해당하는 것으로 정량평가와 함께 분석하여 결론으로 내었다.

<Table 16> In-depth Interview, Perceived Communication Capability - Multimodal

구분	프록세믹스	60cm 사후 인터뷰 응답 요약	200cm 사후 인터뷰 응답 요약
질문2	근접성·공간 인터랙션	<ul style="list-style-type: none"> • 돌발적 접근 → 감각적 각성·존재 인식 강화 • 적정 거리 확보 → 심리적 안정·개방성 회복 • 부드러운 동작·표현 → 감정적 신뢰 완결 • 멀 경우 의도 모호·해석 실패 • 과도 응시 → 심리적 압박·인터랙션의 질 저하 	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 친밀감 부족 → 어색함 • 약간 거리 유지 → 안정감 추구 • 물리적 거리 → 소통 제한 인식 • 거리 미세조정 요구 • 기대·반응 간 차이 → 인지적 거리감
질문3		<ul style="list-style-type: none"> • 예기치 않은 접근 → 위협보다는 존재감, 인터랙션 시작 • 적절 거리 유지 → 심리적 안정·신뢰 형성 • 부드럽고 일관된 반응 → 깊이있는 인터랙션 경험 • 감정적 교류 → 의도 파악 • 강렬한 시선 → 압박·피로 → 회피 	<ul style="list-style-type: none"> • 동작을 의사 표현으로 해석 • 거리 변화 → 안정·경계 반응 • 시선 움직임 → 주의 집중 효과 • 적절성 평가 → 감정 의미 구조화 • 거리 판단 → 인터랙션 기준
질문4	최적 표현·전달력	<ul style="list-style-type: none"> • 갑작스러운 반응 → 인터랙션 시작, 주의집중 • 적정 거리 유지 → 안정·신뢰 형성 • 부드러운 표현 → 감정 신뢰·완결 인터랙션 • 불명확 의도 → 무의미하게 해석 • 과도 응시 → 감시하는 느낌, 인터랙션 회피 	<ul style="list-style-type: none"> • 모자 팝업 동작 → 로봇 의도의 명확한 인지, 안정감 형성 • 반복된 행동 → 일정한 의사소통 패턴으로 해석 • 거리, 표정의 세부 조정 → 상호이해 높임 • 미세한 표현 → 인식 강화
질문5		<ul style="list-style-type: none"> • 예고 없는 접근 → 놀람·경계 • 적절 거리 유지 → 정서적 안정·개방성 • 부드러운 표현 → 정서적 교감, 인터랙션 • 불명확한 의도 → 모호한 해석 • 응시 과도 → 감시받는 느낌, 긴장감 	<ul style="list-style-type: none"> • 거리 인식 → 인터랙션 적정거리 파악 • 로봇의 응답 → 존재 인식, 감정적 의미로 해석 • 반복 표현 → 인터랙션 강화 • 자연스럽게 명확한 반응 → 의사소통 원활 인식 • 단일 시각 표현 → 감정 해석 부족

4.4.4. 감정 인식 강도_유니모달

사후인터뷰의 6번 질문에 해당하는 것으로 정량평가와 함께 분석해 결론으로 내었다.

<Table 17> In-depth Interview, Perceived Emotion Expression Intensity - Unimodal

구분	프록세믹스	60cm 사후 인터뷰 응답 요약	200cm 사후 인터뷰 응답 요약
질문6	근접성·공간 인터랙션	<ul style="list-style-type: none"> • 예상치 못한 접근 → 주의 전환 • 적절한 거리 확보 → 안정감·신뢰 형성 • 먼 거리 → 표현 의도 인식 어려움 • 긴 시간 응시 → 개인적 공간 침범으로 인식 • 부드러운 표현 → 인터랙션 완성도 결정 	<ul style="list-style-type: none"> • 반응 지연 → 답답함·의사소통 단절 • 적절한 시점 응답 → 소통 안정감 • 지나치게 빠른 응답 → 인공적 느낌 <ul style="list-style-type: none"> • 상황별 속도 조절 기대

4.4.5. 감정 인식 강도_멀티모달

사후인터뷰의 6번 질문에 해당하는 것으로 정량평가와 함께 분석해 결론으로 내었다.

<Table 18> In-depth Interview, Perceived Emotion Expression Intensity - Multimodal

구분	프록세믹스	60cm 사후 인터뷰 응답 요약	200cm 사후 인터뷰 응답 요약
질문6	근접성·공간 인터랙션	<ul style="list-style-type: none"> • 돌발 반응 → 즉각적인 놀람 반응 유발 • 적정 거리 → 안정·로봇에 대한 신뢰감 형성 • 부드러운 움직임 → 감정 반응 자연스럽게 인식 • 불명확한 신호 → 해석 실패에 따른 의사소통 단절 • 오랜 기간 응시 → 긴장에 따른 소통력 상실 	<ul style="list-style-type: none"> • 의도 불명확 → 거리·움직임 기반 의도 지속 탐색 • 시선·표정 변화 → 감정 판단 • 의미 파악 → 감정 수용 <ul style="list-style-type: none"> • 작은 조정 행동 → 상호이해 높임 • 행동 단서 → 관계적 의미 확립

5. 결론

5.1. 연구 요약

본 연구는 프록세믹스 조건 변화에 따라 최소 모션 기반 로봇 표현이 의사소통 가능성과 감정 인식 강도에서 어떻게 다르게 지각되는지를 검증하였다. 기준 감정으로 설정한 놀라움은 모든 조건에서 동일한 감정 선택 구조를 보였으며, '표시-감지-경계'의 순서로 일관된 반응 양상이 나타났다. 카이제곱 검정 및 표준화 비교에서도 유의한 차이가 확인되지 않았으며, 이는 거리 및 모달리티 조작이 감정 선택 분포 자체에는 영향을 미치지 않음을 의미한다.

정량 분석 결과, 의사소통 가능성은 근거리 조건에서 유니모달 표현이 상대적으로 높은 평가를 보였으며, 감정 인식 강도는 원거리 조건에서 멀티모달 표현이 더 많은 문항에서 효과를 나타냈다. 이러한 결과는 최소 모션 기반 표현이 프록세믹스 조건에 따라 의사소통 판단과 감정 강도 판단에서 서로 다른 방식으로 작동함을 시사한다. 이는 근거리에서는 단일 단서를 기반으로도 의사소통 의도가 비교적 직접적으로 인식되는 반면, 원거리에서는 복합 단서의 결합을 통해 감정 강도가 보완적으로 해석되는 양상으로 설명 가능하다.

사후 인터뷰 결과는 정량 분석에서 나타난 경향과 일관된 해석을 보였다. 근거리에서는 유니모달 표현이 과도한 부담 없이 수용 가능한 최소 단서로 인식되었으며, 원거리에서는 멀티모달 표현이 감정 해석 과정에서 발생하는 모호성을 완화하는 데 기여하는 것으로 나타났다.

이를 종합하면, 최소 모션 기반 로봇 표현은 프록세믹스 조건에 따라 단일한 기능이 아닌 의사소통 판단과 감정 강도 판단에서 서로 다른 인식 구조로 작동함이 실증적으로 확인되었다. 이는 거리와 공간적 인터랙션 맥락을 반영한 로봇 표현 설계의 개념적 타당성을 뒷받침하는 근거를 제공한다. 이러한 차이는 의사소통 가능성과 감정 인식 강도가 각각 신호의 구별성(Distinctiveness)과 명시성(Conspicuity)과 개념적으로 대응될 수 있는 해석 가능성을 시사하며, 이는 동일한 표현이라도 프록세믹스 조건에 따라 지각과 해석 방식이 달라질 수 있음을 보여준다.

검증된 가설과 분석 결과는 <Table 19>에 제시하였다. 본 연구의 핵심 가설은 H1-H3이며, 놀라움의 조건 간 안정성은 기준 감정의 타당성을 확인하기 위한 추가 검증 항목으로 별도로 제시하였다. 이는 2.3.1에서 다룬 감정 인식 중립성 검증을 연구 해석에 포함하기 위한 것이다.

(Table 19) Summary of Hypothesis Testing Conclusions

번호	가설 내용	측정 영역	정량 결과 요약	정성 결과 요약	검증 여부
H1	근거리×유니모달 → GICC 신뢰도·타당도 ↑	GICC (MW, δ , α)	U) MW 유의 1분항, δ 중간 이상의 효과 크기 3분항, $\alpha \geq .70$ (2분항 유의, 1분항 가능성) / M) MW 유의 2분항, δ 강한 효과 크기 2분항, $\alpha \geq .70$ 기준 미충족,	거리 가까울수록 → 단일 단서 → 명쾌한 해석	정량+정성 지지
H2	원거리×멀티모달 → 감정 인식 강도 신뢰도·타당도 ↑	감정 강도 (MW, δ , α)	U) MW 유의 미충족, δ 작은-중간 크기 효과 2분항, $\alpha \geq .70$ 기준 미충족 / M) MW 유의 미충족, δ 작은-중간 크기 효과 3분항, $\alpha \geq .70$ (1분항 유의, 2분항 가능성)	거리 멀수록 → 복합 단서 → 명쾌한 해석	부분적 지지 (정량 타당도 약함+정성 강함)
H3	의사소통력(GICC) ≠ 감정 인식 강도	GICC vs 감정 강도	GICC=유니모달이 신뢰도, 타당도 우세 / 감정 인식 강도=멀티모달이 약간 우세	의사소통=단서 절제, 감정 강도=복합 단서요구	정량+정성 지지
추가 검증	놀라움은 조건 변화 영향을 받지 않음	놀라움(χ^2, z)	$\chi^2=1.00, z=0.00$ → 동일 구조로 판단	프록세믹스, 모달 변화와 무관하게 표시→감지→경계의 순위	정량+정성 지지(강함)

5.2. 후속 연구

본 연구는 통제된 실험 환경에서 프록세믹스와 표현 모달리티를 기반으로 인터랙션의 유효성을 검증하였으나, 후속 연구에서는 몇 가지 확장이 필요하다. 먼저, 본 연구의 결과가 특정 로봇 형상에 국한되지 않고 동물형, 기능형, 휴머노이드형 등 다양한 로봇 형태에서도 동일하게 나타나는지에 대한 검증이 요구된다.

또한 본 연구는 통제된 환경에서 수행되었으므로, 시각적 방해 요소와 환경 소음이 존재하는 실제 사용 맥락에서도 최소 모션 및 복합 모션 표현의 효과가 유지되는지를 검토하여 생태학적 타당성을 확보할 필요가 있다. 특히 실제 환경에서는 모터 소음과 공간 내 조명 조건 역시 사용자 인지에 영향을 미칠 수 있으므로, 이러한 감각적 요인을 포함한 통합적 검증이 요구된다.

표본 구성 측면에서 본 연구는 20대 대학생을 중심으로 디자인 및 기계공학 전공자를 동일 비율로 포함한 제한된 집단을 대상으로 수행되었으며, 거리 조건 비교 또한 집단별 20명 단위로 이루어졌다. 따라서 본 연구의 정량적 결과는 초기 탐색적 검증으로 해석할 필요가 있으며, 후속 연구에서는 다양한 연령과 전공 배경을 포함한 표본 확장과 함께 충분한 통계적 검정력을 확보할 필요가 있다.

아울러 본 연구는 초기 호출-응답 상황을 중심으로 설계되었으므로, 최소 모션 기반 표현의 효과가 반복되는 인터랙션 과정에서 유지되거나 변화하는지를 종단적으로 검토할 필요가 있다. 마지막으로, 사후 인터뷰는 정량 결과의 해석을 보완하는 수준에서 활용되었으나, 향후 연구에서는 인터뷰 자료를 체계적으로 축적하고 텍스트 마이닝 등 다양한 분석 방법을 적용하여 정성적 해석의 타당성을 정교하게 확보할 필요가 있다. 이러한 후속 연구의 필요성을 바탕으로, 향후 연구에서는 프록세믹스 조건에 따른 사용자 지각과 해석의 차이가 신호의 명시성(Conspicuity)과 구별성(Distinctiveness)으로 각각 어떻게 연결될 수 있는지를 체계적으로 검증할 필요가 있으며, 이는 Integrated Warning Experience(IWE) 프레임워크와의 개념적 정합성을 검토하는 방향으로도 확장될 수 있다(Pak & Pak, 2025).

References

Andronas, D., Apostolopoulos, G., Fourtakas, N., & Makris, S. (2021). Multi-modal interfaces for natural Human-Robot Interaction. *Procedia Manufacturing*, 54, 197-202.

Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D. H. (1999). *Guidelines for community noise*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/a68672>

Bethel, C. L., & Murphy, R. R. (2010). Non-facial and non-verbal affective expression for social robots. *International Journal of Social Robotics*, 2(4), 309-320.

Breazeal, C. (2003). Emotion and sociable humanoid robots. *International Journal of Human-Computer*

- Studies*, 59(1-2), 119-155.
- Chanseau, A., Lohan, K. S., & Aylett, R. (2015, August). How motor speed of a robot face can influence the "older" user's perception of facial expression? *In Proceedings of the 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)* (pp. 468-473). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2015.7333596>
- Cutting, J. E., & Vishton, P. M. (1995). Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. In W. Epstein & S. J. Rogers (Eds.), *Perception of space and motion* (pp. 69-117). Academic Press.
- DiSalvo, C., Gemperle, F., Forlizzi, J., & Kiesler, S. (2002). All robots are not created equal: The design and perception of humanoid robot heads. *In Proceedings of the 4th conference on Designing interactive systems (DIS '02)* (pp. 321-326). ACM.
- Ekman, P. (1992). Are there basic emotions? *Psychological Review*, 99(3), 550-553.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin.
- Hall, E. T. (1966). *The hidden dimension*. Doubleday.
- Haney, J. M., & Liang, C. J. (2024). A Literature Review on Safety Perception and Trust during Human-Robot Interaction with Autonomous Mobile Robots That Apply to Industrial Environments. *IIEE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 12(1-2), 6-27.
- Heo, K. (2003). Validation of the Global Interpersonal Communication Competence Scale (GICC). *Korean Journal of Journalism & Communication Studies*, 47(6), 380-408.
- Karakaya, R., Camara, F., & Perinpanayagam, S. (2025). Human interactions with autonomous mobile robots in public spaces: A survey. *In 2025 IEEE 34th International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN63969.2025.11217738>
- Leite, I., Castellano, G., Pereira, A., Martinho, C., & Paiva, A. (2014). Empathic robots for long-term interaction: Evaluating social presence, engagement and perceived support in children. *International Journal of Social Robotics*, 6(3), 329-341.
- Lohse, M., Rothuis, R., Gallego-Pérez, J., Karreman, D. E., & Evers, V. (2014, April). Robot gestures make difficult tasks easier: the impact of gestures on perceived workload and task performance. *In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1459-1466).
- Matsumaru, T. (2022). Methods of generating emotional movements and methods of transmitting behavioral intentions: A perspective on human-coexistence robots. *Sensors*, 22(12), 4587.
- Mead, R., & Matarić, M. J. (2017). Autonomous human-robot proxemics: Socially aware navigation based on interaction potential. *Autonomous Robots*, 41(5), 1189-1201.
- Miklósi, Á., Korondi, P., Matellán, V., & Gácsi, M. (2017). Ethorobotics: A new approach to human-robot relationship. *Frontiers in psychology*, 8, 958.
- Pak, H. S., & Pak, K. C. (2025). Minimal Motion for Emotional Expression in HRI. *Journal of Basic Design & Art*, 26(5), 291-306.
- Pak, H. S., & Pak, K. C. (2025). Optimization of Robot's Morphological Configurations and Analysis of Nonverbal Signal Elements in way to Enhance Affection in Human-Robot Interaction(HRI). *Journal of Basic Design & Art*, 26(2), 191-206.
- Pak, H. S., & Pak, K. C. (2025). The Integrated Warning Experience (IWE): A Theoretical Framework for Visual Warning Design Based on Biological Warning Signs, in Chang, C.-Y., Chen, C.-H., & Hsu, Y. (eds.). *IASDR 2025: Design Next, 02-05 December, Taiwan*. <https://doi.org/10.21606/iasdr.2025.755>
- Proctor, R. W., & Proctor, J. D. (2021). Sensation and perception. *Handbook of human factors and ergonomics*, 55-90.
- Rossi, A., & Ruocco, M. (2019). Emotion recognition in human-robot interaction: Challenges and opportunities. *Frontiers in Robotics and AI*, 6, 139.
- Russell, J. A., & Fehr, B. (1987). Relativity in the perception of emotion in facial expressions. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116(3), 223-237.

- Rubin, R. B., & Martin, M. M. (1994). Development of a measure of interpersonal communication competence. *Communication Research Reports*, 11(1), 33-44.
- Satake, S., Kanda, T., Glas, D. F., Imai, M., Ishiguro, H., & Hagita, N. (2009). How to approach humans? Strategies for social robots to initiate interaction. *In Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 109-116.
- Walters, M. L., Koay, K. L., Syrdal, D. S., Dautenhahn, K., & Te Boekhorst, R. (2009). Preferences and perceptions of robot appearance and embodiment in human-robot interaction trials. *In Proceedings of the AISB 2009 Symposium on New Frontiers in Human-Robot Interaction*.
- Wang, X., Li, Z., Wang, S., Yang, Y., Peng, Y., & Fu, C. (2024). Enhancing emotional expression in cat-like robots: Strategies for utilizing tail movements with human-like gazes. *Frontiers in Robotics and AI*, 11, 1399012. <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1399012>
- Wilms, L., Oberfeld, D. (2018). Color and emotion: effects of hue, saturation, and brightness. *Psychological Research* 82, 896-914.
- Wittmann, M. (1999). Time perception and temporal processing levels of the brain. *Chronobiology International*, 16(1), 17-32.