

소셜 로봇의 감성적 인터랙션 강화를 위한 비언어 신호 요소 분석 및 외형 조합 최적화 방향 제안

Optimization of Robot's Morphological Configurations and Analysis of Nonverbal Signal Elements in way to Enhance Affection in Human-Robot Interaction(HRI)

박효상, 홍익대학교 디자인학 / 박기철(교신저자), 홍익대학교 기계시스템디자인공학

Pak, Hyo Sang_Design Studies, IDAS, Hongik University /

Pak, Ki Cheol(Corresponding Author)_Dept. of MSDE, Hongik University

차례

1. 서론
 - 1.1. 연구 배경
 - 1.2. 연구 목적
2. 이론적 배경
 - 2.1. HRI(Human-robot Interaction)
 - 2.2. 소셜 로봇(Social Robot)의 정의
 - 2.3. 커뮤니케이션 프로세스
3. 연구 방법
 - 3.1. 연구 절차
 - 3.2. 분석 방법
 - 3.3. 가설 설정
4. 사례 연구
 - 4.1. 데이터 분류
 - 4.2. 데이터 정량화
 - 4.3. 결과
5. 결론
 - 5.1. 연구 요약
 - 5.2. 연구의 한계
 - 5.3. 후속 연구 방향

References

소셜 로봇의 감성적 인터랙션 강화를 위한 비언어 신호 요소 분석 및 외형 조합 최적화 방향 제안

Optimization of Robot's Morphological Configurations and Analysis of Nonverbal Signal Elements in way to Enhance Affection in Human-Robot Interaction(HRI)

박효상, 홍익대학교 디자인학 / 박기철(교신저자), 홍익대학교 기계시스템디자인공학

Pak, Hyo Sang_Design Studies, IDAS, Hongik University /

Pak, Ki Cheol(Corresponding Author)_Dept. of MSDE, Hongik University

요약

중심어

비언어 커뮤니케이션

감성적 인터랙션

로봇 외형

텍스트 마이닝

사용자-로봇 인터랙션

본 연구는 소셜 로봇의 감성적 인터랙션을 극대화하기 위해 비언어 커뮤니케이션 요소를 중심으로 로봇의 외형과 사회적 관계 유형의 최적 조합을 분석하였다. 비언어 신호는 인간 간 의사소통뿐만 아니라 사용자-로봇 간 인터랙션에서도 감정 표현과 정서적 유대 형성에 핵심적인 역할을 수행한다. 그러나 기존 연구는 로봇의 외형이나 기능적 목적에 치중하여 외형과 비언어 커뮤니케이션 간의 통합적 분석이 부족하였다. 이에 본 연구는 소셜 로봇의 외형을 Humanoid, Animal, Character, Functional의 네 가지로 분류하고, 사회적 관계 유형 7가지, 비언어 신호 5가지, 사용자 인터페이스 3가지를 기준으로 분석을 수행하였다. Python 기반 텍스트 마이닝 기법을 적용하여 Pandas와 NLTK를 활용해 주요 키워드를 추출하고, 가산점 평가 및 Min-Max Scaling을 통해 정보 전달 요소와 감성적 요소를 수치화하고 시각화하였다. 분석 결과, Animal 외형 로봇이 비언어 신호 기반 감성적 인터랙션에 가장 적합한 것으로 나타났으며, Functional 외형은 언어 커뮤니케이션 기반 정보 전달의 목적으로 주로 활용되었다. Humanoid와 Character 외형은 유사한 군집을 형성하여 명확한 구분이 어려웠다. 또한 비언어 신호인 Kinesics, Vocalics, Oculistics, Proxemics를 적용한 '사회적 환기형' 로봇 설계가 기술적으로 최적화된 것으로 분석되었다. 후속 연구에서는 주요 비언어 신호를 기반으로 최소한의 모션 요인을 적용한 단일 모달리티와 요인-요인 조합을 통한 복합 모달리티 방식을 구분하여, 모션, 속도, 거리 등 다양한 요인이 감정 표현의 적합성에 미치는 영향을 사용자 평가를 통해 검증할 필요가 있다. 본 연구는 로봇 산업뿐만 아니라 일상 제품의 감성적 인터랙션 적용을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

Keywords

Nonverbal

Communication

Affective Interaction

Robot Design Category

Text Mining

Human-robot

Interaction(HRI)

This study examines the role of Nonverbal Communication Elements in enhancing Affective Interaction within Social Robots, focusing on their correlation with Robot Design Categories and the Classification of Social Robots. The objective is to identify optimal combinations of these factors to improve emotional expression and user-robot bonding in Human-Robot Interaction (HRI). Despite the recognized importance of nonverbal signals in fostering affective engagement, prior studies have predominantly addressed robot appearances or functional roles in isolation, lacking integrated analysis. In this study, social robots are categorized into four design types (Humanoid, Animal, Character, and Functional), and the classification framework includes seven relationship-based categories. Nonverbal communication elements are divided into five signal types and three user interface modalities, evaluated using structured scoring criteria. Key interaction design factors were quantified through text mining using Python-based methods. Data were normalized via Min-Max scaling and interpreted through clustering analysis. Results indicate that Animal-form robots are most effective in leveraging nonverbal signals for affective interaction, while Functional-form robots primarily support information-oriented verbal communication. Humanoid and Character types displayed overlapping characteristics, complicating distinct categorization. Among the nonverbal signals, Kinesics, Vocalics, Oculistics, and Proxemics were identified as critical contributors to affective engagement. Designing Animal-form robots for Socially Evocative functions emerged as a technically optimal approach. Future research should validate the appropriateness of emotional expression by distinguishing between Uni-Modal approaches using minimal motion-related factors and Multi-Modal approaches combining such factors, based on key nonverbal signals through user evaluation. This study is expected to serve as a foundational reference for affective interaction design in both the robotics industry and everyday products.

이 연구는 2025년도 산업통상
자원부 및 한국산업기술기
획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한
연구임(202302010001).

1. 서론

1.1. 연구 배경

비언어 커뮤니케이션은 감정과 의도를 전달하며, 커뮤니케이션 방법 중 언어를 통한 메시지 전달의 한계를 보완하여 의사소통 과정에서 전달자의 감정을 보다 명확히 표현하는 데 기여한다. 비언어 신호는 의사소통의 약 65%를 차지하며(Birdwhistell, 1970), 구성 요인 중 표정과 몸짓은 감정 표현에서 55%의 비중을 차지한다(Mehrabian, 1972). 이는 눈 맞춤, 표정 변화, 손짓 등의 비언어 요소를 이용하여 감정적 의도를 추가해 메시지 전달을 더욱 명확히 하는 데 기여함을 보여준다(Burgoon et al. 1996). 이외 비언어 커뮤니케이션의 인터랙션 특징에 관한 주요 연구를 표로 정리하면 다음과 같다.

〈Table 1〉 A Study on the Background of Nonverbal Communication

정의	연구 내용	연구자(년도)
감정 표현	제스처와 표정 등이 감정 표현에서 언어 커뮤니케이션을 보완하여 메시지 전달의 정확성과 감정적 반응을 강화.	Knapp, M. et al.(2013)
감정 표현 보편성	표정과 제스처는 세계적으로 공통적인 감정을 나타낼 수 있음을 입증하고, 감정 표현의 보편성을 논의함.	Ekman, P. & Cordaro, D.(2011)
문화적 요인 영향	신체 언어와 제스처는 상대적으로 문화적 요인의 영향을 덜 받음. 감정 표현은 인터랙션에 직접적 영향.	Kim, W. & Chang, S.(2004); Argyle, M.(2013)
의사소통 기여도	다양한 요소(표정, 제스처, 사운드 등)가 의사소통에서의 감정 표현 및 설득력에 미치는 영향을 연구.	Mehrabian, A.(1972); Burgoon, J. K. et al.(1990)
메시지 전달력	사회적 인터랙션에서 비언어 신호(눈 맞춤, 표정, 몸짓 등)가 언어적 메시지를 보완. 명확성, 감정 표현력을 높임.	Burgoon, J. K. et al.(1996); Argyle, M.(2013)
비언어/언어 비교	비언어 요소들이 언어적 요소인 메시지와 어떻게 인터랙션 하며, 의사소통에 기여하는지 분석.	Knapp, M. et al.(2013)

또한 비언어 신호를 구성하는 요인은 7가지로 세부 구분되며, 각각의 신호는 의사소통에서 고유한 기능을 수행하여 메시지 전달을 더욱 풍부하게 한다(Trenholm & Jensen, 1999). 이를 표로 정리하면 다음과 같다.

〈Table 2〉 Nonverbal Codes

요인	기능
Proxemics	개인 간 거리와 공간 사용을 통한 의사소통. 가까이 있으면 친밀감을, 멀리 있으면 거리감을 나타냄.
Haptics	신체적 접촉을 통한 의사소통. 악수, 포옹, 쓰다듬기 등이 포함되며, 이를 통해 애정, 지배, 우호적 관계 등을 전달.
Oculesics	눈의 움직임이나 눈 맞춤을 통한 의사소통. 눈을 맞추는 것은 관심이나 정직성을, 회피하는 것은 불안감이나 무관심을 의미할 수 있음.
Facial Expressions	표정을 통한 감정 표현. 미소는 긍정적 감정을, 찡그림은 불쾌함을 표현함.
Vocalics	음성의 톤, 속도, 음량 등을 통한 의사소통. 빠르고 높은 음성은 흥분을, 낮고 느린 음성은 침착함을 나타낼 수 있음.
Kinesics	신체 움직임과 제스처를 통한 의사소통. 손짓, 머리 끄덕임 등으로 감정이나 메시지를 전달함.
Physical Appearance	의상, 몸의 크기나 형태 등 외적 모습을 통한 의사소통. 특정 복장은 사회적 지위를 나타낼 수 있음.

1.2. 연구 목적

비언어 신호는 상호 간 인터랙션에 관여하는 핵심 요인으로, 사람 간의 인터랙션뿐만 아니라 사용자-로봇 인터랙션(HRI)에서도 마찬가지로 중요한 역할을 수행한다. 그러나 주로 로봇 외형을 기준으로 사용 목적을 분석한 연구는 존재하나, 커뮤니케이션 방식 및 세부 요소를 고려한 검증은 미진하다. 이에 본 연구는 비언어 신호를 중심으로 외형과 커뮤니케이션 방식이 감정적 인터랙션에 미치는 영향을 분석하고, 로봇의 외형, 커뮤니케이션 방식, 사회적 관계 유형의 최적 조합을 도출하는 것을 목표로 한다. 본 연구는 최적화된 기술 구현을 기반으로 누구나 쉽게 개발할 수 있는 로봇 디자인 전략 수립에 기여하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. HRI(Human-robot Interaction)

선행 연구는 비언어 커뮤니케이션이 HRI에서 사용자와의 정서적 유대감 형성을 위한 감성적 인터랙션에 중요 역할을 수행하고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비언어 커뮤니케이션을 중심으로 연구 진행을 하기 위해 언어의 역할에 대한 논의는 비언어 커뮤니케이션과 어떠한 차이가 있는지 보기 위해 이론적 배경에서만 최소한 언급하고 정보 전달의 역할에 한정한다. 내용을 요약하여 표로 정리하면 다음과 같다.

〈Table 3〉 HRI Study

구분	연구 요약	연구자(년도)
언어 커뮤니케이션	자연어 대화 시스템을 통한 언어의 정보전달 사례.	Thomaz, A. L. & Breazeal, C.(2008); Leite, I. et al.(2013)
	정보전달의 목적으로 명확한 지시 및 설명을 제공하여 학습 지원 역할을 수행.	Kanda, T. et al.(2004); Belpaeme, T. et al.(2018)
	작업 수행에서 로봇의 발화 경로도에 따른 HRI 몰입도 향상.	Abbas, A. N. & C. Beleznai.(2024)
비언어 커뮤니케이션	로봇의 비언어 신호를 학습하고 HRI를 수행하는 방식을 연구. 자연스럽고 효과적인 HRI를 수행하는 방법을 탐구.	Dautenhahn, K.(1998)
	감정 표현을 위한 신체 동작과 제스처가 감정 인식에 미치는 영향을 실험적으로 검토.	Stathopoulou, I. O. & Tsihtintzis, G. A.(2011)
	공감 기능이 있는 로봇은 사용자와의 장기간 인터랙션을 통해 정서적 유대감을 강화.	Leite, I. et al.(2014)
	로봇의 외형과 행동특성을 통해 HRI의 감정 표현력을 강화할 수 있음.	Fong, T. et al.(2003); Kang, B. & Jun, S.(2022)
	LED 점멸 변화와 팔동작으로 감정을 전달하고 사용자와의 정서적 유대를 강화.	Wei, H. & Zhao, L.(2016); Kim, N. & Pak, K.(2023)
	빛, 추상적 동작 표현으로 효과적인 감정 표현 가능성 입증.	Kang, B. & Jun, S.(2022); Kim, H. & Pak, K.(2023)
	비언어 요소를 활용한 HRI 후속 연구 필요성 제시.	
UI 유형	AUI(Audio User Interface)을 통해 톤(어조), 발화 속도, 음량을 통해 사용자에게 감정 상태와 의도 전달. 대화적 인터랙션을 강화.	Hermann, T. et al.(2011)
	GUI(Graphic User Interface)을 통해 디지털 화면, LED 색상 변화, 애니메이션 등을 통해 사용자와의 감정적 인터랙션을 유도하고, 정보 전달의 명확성을 강화.	Shneiderman, B.(1983)
	NUI(Natural User Interface)을 카메라나 센서를 이용한 제스처(손짓, 머리 끄덕임, 움직임 등)입력을 통해 직관적 상호작용. 이를 통해 사용자와의 인터랙션 질을 높이는데 기여.	Shatilov, K. et al.(2019)

따라서, HRI에서 언어적 커뮤니케이션은 정보전달(Information Delivery)을 주목적으로 사용되고, 비언어 커뮤니케이션은 정서적 유대감 증진 목적 감성적 인터랙션(Affective Interaction)에 주로 사용된다고 볼 수 있다.

2.2. 소셜 로봇(Social Robot)의 정의

종래의 산업로봇과 구분을 위해 본 연구에서는 소셜 로봇(Social Robot)이라는 용어를 사용하여 HRI를 주 기능으로 행하는 로봇을 설명한다. 이때, 소셜 로봇은 사람과의 감성적 인터랙션 및 정보전달 그리고 교육을 위한 인터랙션에 전념하는 로봇부터, 특정한 임무 완수를 위해 인터랙션하는 로봇까지 다양하다(ISO 8373). 감성적 표현, 학습, 사회적 관계 형성 능력을 갖춘 총 일곱 가지 소셜 로봇의 사회적 관계 유형(The Classification of Social Robots) 정리는 다음과 같다(Fong et al. 2003).

〈Table 4〉 *The Classification of Social Robots*

유형	연구 내용	연구자(년도)
사회적 환기형 (Socially Evocative)	사용자가 로봇을 보살핌과 돌봄의 대상으로 바라봄. 소셜 로봇은 사용자에게 정서적 반응을 유도.	Breazeal, C.(2003)
사회적 인터페이스 (Social Interface)	인간과 유사한 의사소통 방식과 사회성을 보이는 표현. 기본적인 사회적 인지 능력 보유.	
사회적 수용형 (Socially Receptive)	사용자 행동 및 언어적 모방을 통해 기술을 학습. 사회적 인터페이스 로봇보다 높은 수준의 사회적 능력 필요.	
사회적 (Sociable)	정서적 유대를 위해 능동적으로 사용자와 인터랙션을 수행.	
사회적 상황형 (Socially Situated)	주변 환경을 인지하고 반응. 스마트 기기 및 다양한 물체를 식별.	Dautenhahn, K. et al.(2002)
사회적 내재형 (Socially Embedded)	(a) 스마트 기기 및 사용자와 인터랙션 (b) 다양한 채널과 연결 (c) 인터랙션 구조 모델(대화 순서 등)을 부분적으로 인식.	
사회적 지능형 (Socially Intelligent)	높은 수준의 사회적 지능을 바탕으로 원활한 HRI 수행.	

이외 소셜 로봇 외형 분류 및 사용 목적에 따른 관련 선행 연구는 다음과 같다.

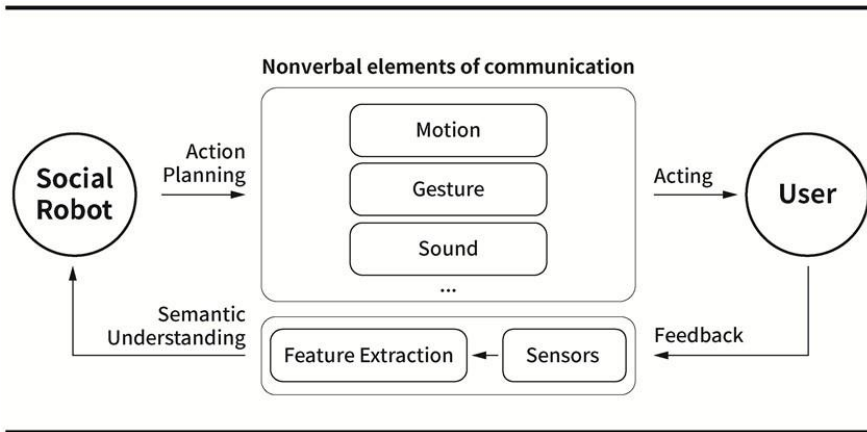
〈Table 5〉 *Classification of Social Robot Interaction Objectives*

정의	연구 요약	연구자(년도)
인터랙션 목적 /사회적 행동	로봇을 인터랙션 목적(감성적 유대 vs. 정보 전달)으로 분류.	Breazeal, C.(2003)
사회적 인지 /인터랙션 능력	로봇의 사회적 인지 및 환경 적응 능력을 중심으로 평가 및 분류.	Dautenhahn, K.(2007)
감정 표현 /사회적 역할	감정 표현 - 사용자와 사회적 관계 형성을 기준, 소셜 로봇 구분.	Bartneck, C. et al.(2009)
인간다움 (Human-like)	정적 요소(외형)는 로봇의 첫 인식에 중요한 역할을 함. 동적 요소(행동)는 움직임, 인터랙션, 사회적 행동, 언어·비언어 커뮤니케이션으로 구성.	Zitzewitz, J.(2013)
소비자 타겟 /개발 목적	소비자 타겟에 맞춰 로봇을 분류, 개발 목적을 정의.	Youssef, K. et. al.(2022)
외형 목적	로봇을 외형(Animal, Character, Humanoid, Functional)별 감정 표현 및 정보 전달 수행 목적 분류.	Henschel, A. et al.(2021); Kim, N. & Pak, K.(2023)
외형 - 행동 인터랙션 영향	외형은 초기 친숙함과 사회적 수용성에 영향을 주며, 인간과 유사할수록 직관적 상호작용이 가능. 그러나 장기적 유대감 형성에는 로봇의 행동과 감성적 인터랙션이 더욱 중요.	Minh, T. et al.(2023)

기존 연구는 로봇을 외형(Animal, Character, Humanoid, Functional)별 감정 표현 및 정보 전달 수행 목적에 따라 로봇을 분류하였으나(Henschel et al., 2021; Kim & Pak, 2023), 구체적인 감성적 인터랙션 요소에 대한 분석이 미진하였다. 특히, 커뮤니케이션 방식과 감성적 유대감 형성의 연관성에 대해 복합적 고찰이 미진하였다. 따라서 본 논문은 이를 보완하여 인간다움을 연구한 선행 연구에서는 외형과 행동의 세부 요소 그리고 친근함을 연구한 선행 연구에서는 유형에 따른 행동 및 감성적 인터랙션에 대한 분석을 참고하여 본 연구 방법을 고려하였다.

2.3. 커뮤니케이션 프로세스

소셜 로봇은 비언어 신호를 활용하여 사용자와의 인터랙션에서 감성적 피드백(Affective Feedback in Social Interaction)을 수행 가능하다(Breazeal & Scassellati, 2003). 이는 비언어 신호가 단순한 언어의 보조적 요인이 아닌 감정 표현력을 강화하고 사용자와의 자연스러운 인터랙션을 촉진하는 중요 수단으로 사용될 수 있음을 알 수 있다. 이를 소셜 로봇 - 사용자의 관계로 나타내면 다음과 같다(De Lima & Feijó, 2019).



〈Figure 1〉 Nonverbal Human-robot Interaction Process

앞서 이론적 배경에서 논의된 선행 연구를 참고하여, 소셜 로봇의 분류를 위해 정적 요소인 외형(Appearance)에는 기존 연구와 동일한 기준을 적용하되, 동적 요소인 행동(Behavior)의 분석을 위해 주요 선행 연구를 기반으로 소셜 로봇의 인터랙션 방식을 세부적으로 분류하였다. 특히 본 연구는 감성적 인터랙션(Affective Interaction)을 중심으로 분석을 구체화하기 위해, 비언어 커뮤니케이션을 중심으로 주요 신호를 세부적으로 구분해 나타내었다.

〈Table 6〉 Criteria for Classification of Language/Nonverbal Communication

구분	인터랙션(Interaction)					
단계 1	언어적 커뮤니케이션	비언어 커뮤니케이션				
단계 2	언어 구사	비언어 신호				
단계 3		눈, 표정(얼굴)	빛	팔	머리	효과음
분류 내용	음성 또는 텍스트로 명확한 메시지를 전달	눈 맞춤과 표정을 활용한 감정 및 의도 전달	조명 변화를 통한 감정 신호 표현	팔 움직임을 활용한 주의 환기 및 동작 지시	머리 동작(끄덕임 등)을 통한 피드백	음의 고저와 단순음을 활용한 감정 표현 및 인터랙션
연구자 (년도)	Berlo, D. K. (1960); Barnlund, D. C.(1970)	Trenholm, S., & Jensen, A.(1999); Endo, N. et al.(2008); Cardenas, P. et al.(2024)	Terada, K. at al.(2012); Jonauskaitė, D. et al. (2019)	Wei, H., & Zhao, L. (2016); Cardenas, P. et al.(2024)	Endo, N. et al.(2008); Cardenas, P., et al.(2024)	Rossi, S. et al. (2019); Latupeirissa, A. B. et al.(2020); Okimoto, J. & Niitsuma, M.(2020)

3. 연구 방법

3.1. 연구 절차

HRI 연구가 제한된 실험 환경에서 이루어질 경우, 일상적 인터랙션을 일반화하는 데 한계가 따른다는 연구(Cleaver et al. 2020)는 현장 연구와 문화적 검증의 필요성을 강조한다. 이에 본 연구는 2014-2024년 출시된 소셜 로봇 40종을 대상으로, 실제 환경에서 활용된 비언어 커뮤니케이션 방식을 간접적으로 분석한다. 연구 절차는 표로 정리하였다.

〈Table 7〉 Research Method

문헌, 사례연구	데이터수집	데이터 정리 및 분석	결과 및 결론
비언어 커뮤니케이션 중심 HRI에 사용되는 커뮤니케이션 방식 및 목적성 검토	▶ 시장에 출시된 소셜 로봇 40종(2014-2024) 대상 데이터 확보	▶ 텍스트 데이터를 정량 데이터로 변환 후 시각화 (산포도, 클러스터링 적용)	▶ 커뮤니케이션 방식과 감정 표현의 연관성 검토 효율적이고 직관적인 감성적 인터랙션 개발방안

3.2. 분석 방법

<Table7>에서 언급한 데이터 수립, 정리 및 분석 방법을 표로 세부 정리하였다.

<Table 8> Data Collection, Organization, and Analysis

단계	세부 내용
데이터 (텍스트) 수집	언어/비언어, UI 구분 자연어 문장 작성 데이터 세트 구축. 관련 전공 15명 데이터 정리 / 5명 전문가 델파이 회의 후 키워드 확정. 자연어 처리(NLP) 기법을 활용하여 주요 키워드 정리.
데이터 전처리	Python으로 데이터 정리. pandas를 이용한 정보전달 및 감정 표현 관련 자연어 처리. NLTK(Natural Language Toolkit)활용한 텍스트마이닝. 1)토큰화(Tokenization): 문장을 단어 단위로 분리. 개별 단어를 분석 가능하도록 변환. 2)불용어 제거(Stopword Removal): 의미 전달없는 불필요(예: 관사, 접속사 등)를 제거. 3) 표제어 추출(Lemmatization): 동일한 의미를 가진 단어를 일관되게 처리. 4) 키워드 선정: 명사 및 형용사만을 대상. 표현 관련성이 낮은 키워드는 제거 후 추출. 5) 빈도 분석: 특정 키워드 출현 빈도 계산. 5회 이상 반복된 키워드는 중요도를 고려 강조.
정량화	언어/비언어 신호 평가 요소를 One-Hot Encoding(데이터 수치화)이용 정량적 수치화 감정 표현 사용 빈도를 기반, 0-1 범위의 Min-Max Scaling을 적용하여 정규화.
관계 분석	감정 표현 방식 - 소셜 로봇의 외형 4가지 간 관계 분석. 감정 표현 방식이 언어 / 비언어 신호 활용 방식과 어떻게 연결되는지 검토.
시각화, 클러스터링	감정 표현 방식과 인터랙션 유형 간 관계를 분석하여 산포도(Scatter Plot) 작성. 외형별 산포도를 동일 선상 배치 후(Clustering) 유형별 차이 검증.

3.2.1. 가산점 항목 및 공식

데이터 간 가독성, 비교를 고려하여 10단계로 구분하였다. 관련 수식을 표로 정리하였다.

<Table 9> Bonus Criteria and Formula

가산점 항목		가산점 공식	
기호	설명	풀이	설명
V	언어적 커뮤니케이션 점수 (0.0~1.0, 0.1 간격)	$V' = \min(1.0, \max(0.0, V + (S(G) \cdot \alpha + S(A) \cdot \beta + S(N) \cdot \gamma) \cdot 0.1))$	언어적 커뮤니케이션 점수(V)에 가산점을 적용하고 정규화
N1~N5	비언어 요소 점수 (Eyes, Light, Arms, Head, Sound Effect)(0.1~1.0)	$Ni' = \min(1.0, \max(0.0, Ni + (S(G) \cdot \lambda i + S(A) \cdot \mu i + S(N) \cdot \nu i) \cdot 0.1))$	비언어 요소(N1~N5)에 가산점을 적용하고 정규화
V'	가산점 적용 후 업데이트된 V 값(0.1~1.0)	제한 조건	1) V 또는 N_i가 0이면 가산점 부여 불가 2) S(G), S(A), S(N) 중 하나라도 0이면 가산점 부여 불가 3) NLP 키워드가 일치해야 적용
N1'~N5'	가산점 적용 후 업데이트된 N 값(0.1~1.0)	정규화 범위	$V', Ni' \in [0.0, 1.0]$, 증가 단위는 0.1 Min-Max Scaling으로 적용
S(G), S(A), S(N)	NLP 분석을 통해 GUI(G), AUI(A), NUI(N)에서 추출한 점수 (0 또는 1)		
α, β, γ	G, A, N이 V에 미치는 영향 계수(0.1~1.0)		
$\lambda i, \mu i, \nu i$	G, A, N이 N1~N5 각각에 미치는 영향 계수(0.1~1.0)		

3.2.2. 가산점 부여 예시

점수화가 인정되는 관련 키워드 예시를 비언어 신호와 연계하여 구체적으로 작성하였다.

<Table 10> Example of Bonus Point Granting

요소	설명	관련 키워드(예시)
N1 (Eyes, Facial Expression)	눈 맞춤, 표정을 통한 감정 표현	"eye contact", "facial expression"
N2 (Light)	조명을 활용한 감정 표현	"LED", "color change", "light effect"
N3 (Arms)	팔동작을 통한 의사소통	"gesture", "wave", "arm movement"
N4 (Head)	고개 움직임을 통한 반응	"nod", "head tilt", "head movement"
N5 (Sound Effect)	효과음을 통한 감정 표현 (언어 제외)	"beep", "chime", "sound feedback"

3.3. 가설 설정

앞서 정리한 선행 연구에 따라 인터랙션 수행 목적은 감성적 인터랙션과 정보전달의 목적으로 분류될 수 있다고 판단하였다. 또한, 정보전달은 언어와, 감정 표현은 비언어 커뮤니케이션과 관련성이 있다고 판단하였다. 이를 기반으로 가설을 세우고 검증하고자 한다. 이를 표로 나타내면 다음과 같다.

〈Table 11〉 Hypothesis Formulation

가설		목적
정보 전달 - 언어 관련성		선행 연구 결과를 입증하고, 이를 기준으로 산포도를 X축으로 배치
감정 표현 - 비언어 관련성		선행 연구 결과를 입증하고, 이를 기준으로 산포도를 Y축으로 배치
외형 - 커뮤니케이션	자연어 처리 텍스트마이닝	선행 연구에 따른 분류(Humanoid, Animal, Character, Functional)정리 데이터 처리 이후 외형 - 커뮤니케이션 최적 조합 분석
	정량화(산포도, 클러스터링)	
외형-커뮤니케이션-사회적관계유형		사회적 관계 유형으로 분류 가능 여부 확인

4. 사례 연구

4.1. 데이터 분류

문헌 및 사례연구를 통해 로봇이 어떤 요소를 사용하여 커뮤니케이션을 수행하는지 세부 구분에 따라 자연어로 정리하였다. 구체적 정보가 확인되는 경우 문장으로 정리하였으며, 그렇지 않은 경우는 특정 요소 사용 여부를 O, X로만 간단하게 정리하였다.

No.	Fig.	Name	Release Year	Appearance	Communication						GUI(Graphic User Interface)	AUI(Audio User Interface)	NUI(Natural User Interface)
					Verbal Language English, Etc.	Non-verbal				Sound Effect			
						Eyes(2D), Facial Expressions(3D)	Gesture	Arms	Head				
H1		nao	2023 (~Updated)	Humanoid	O	2D	Eyes, Face, Body	2 Joints	O	X	X	AI Interactive	X
H2		Atlas	2024 (~Updated)	Humanoid	X	2D	X	Human-like arm structure for balanced	X	X	X	X	The robot employs a Natural User Interface (NUI) capable of executing natural.
H3		pepper	2015	Humanoid	O	2.5D (A figure inside)	Eyes	O	O	Alarm when calling the robot	Provides information guidance, education, and dialogue through the	Can detect conversations and implement 15 languages	Human-like movements can be realized, such as handshaking and hugging, etc.
H4		Sophia	2016	Humanoid	Artificial Intelligence and Natural	3D / Face expression. Blinking	X	A shape similar to a human arm, the ability	Nodding, left and right	X	X	The ability to understand voice commands, respond with voice recognition	NUI to understand and respond to human natural language and movements. Communicate
H5		Alpha mini	2019	Humanoid	O	2D	LED light at the mouth indicates that voice	O	O	O	Processing eyes that move the eyes by recognizing the robot's behavior, the shape	Use voice language and music provided by Naver Clover for content	Eye movement, communication through voice language
H6		moxie	2021	Humanoid	O	2D / Realistic description expression	Chest	2-Axis	Nodding	The sound effect of a short tone like a greeting bell	GUI shown with facial expression but no touch	AI Interactive	X
H7		Cyberone	2023	Humanoid	O	Visualize AI sensor recognition with 3D images	X	Left, left and right	AI Sensor Camera Recognizes 4-5	O	Visualize AI sensor recognition with 3d images / display module	Visualize AI sensor recognition with 3d images / display module	X
H8		Tesla's Optimus Gen2	2024	Humanoid	Speech recognition then dialogues	X	X	Human arm shape / Left / Left and right /	Left and Right	X	X	Conduct 15 languages using AI	Human-like movements. Equipped with new hands and feet with advanced sensors and
H9		NEO	2024	Humanoid	O	X	X	O	O	X	X	Understanding and executing user commands with voice recognition	Communicate with users naturally
H10		Figure	2024	Humanoid	O	X	X	O	O	X	Apply appropriate emotions on Robot face	Understanding and executing user commands with voice recognition	Communicate with users naturally

〈Figure 2〉 Humanoid-form Robots

No.	Fig.	Name	Release Year	Appearance	Communication						GUI(Graphic User Interface)	AUI(Audio User Interface)	NUI(Natural User Interface)
					Verbal	Non-verbal				Sound			
					Language	Gesture							
				English, Etc.	Eyes(2D), Facial Expressions(3D)	Light	Arms	Head	Effect				
A1		aibo	2018 (~Updated)	Animal	X	2.5D (embedded structure)	X	Yes	Mimics real puppy behavior, such as	Simulated dog sounds that change based on interaction	Rich expressions through eyelid display	Imitates real puppy behavior, including tail wagging, ear movements,	Simulates real puppy behaviors: Kicks and fetches toys with its
A2		Zoomer	2014	Animal	X	2D with color and pattern change	X	Log-like arms that can extend in certain	Nods and rotates left-right	Yes	Expresses emotions and status with blinking and pixel pattern changes	No conversation, feedback only	Designed for intuitive and natural interaction through touch, gestures, and
A3		Joy For All	2015	Animal	X	3D with facial expressions, blinking eyes	X	Resembles cat and dog, performing	Resembles cat and dog, performing	Cat purring, meowing, soft breathing, Dog	X	Non-verbal interaction through hand gestures, facial expressions, head	Communicates naturally with the user through non-verbal interactions, including hand
A4		Jennie	2017	Animal	X	3D with facial expressions, blinking eyes	X	Resembles a puppy, performs	Resembles a puppy, performs	Realistic puppy sounds based on a 12-week-old	X	Natural communication through non-verbal interactions, including hand	Communicates naturally with the user through non-verbal interactions, including hand
A5		qibo	2018	Animal	X	X	X	X	Tail Wagging	X	X	X	When petted, wags its tail like a real pet, capable of 360-degree rotation and varied wagging
A6		Kiki	2019	Animal	O	O	HD IPS Display	X	Body and head freely rotate and nod	X	Displays various emotions through IPS screen at 60fps, allowing users to	Recognizes and responds to user voice commands via microphone, enabling	Equipped with NUI features like facial recognition, voice recognition, and touch sensors,
A7		Miro-E	2019	Animal	X	Eyes, tail, sound	O	X	Rotates left, right, up, and down	Short, animal-like sounds for emotional expression	X	Communicates emotions through animal-like sounds	Detects user movements, gestures, and voice through a camera, roaming freely and
A8		Mars Cat Robot	2020	Animal	X	2.5D with eye movement and color change	X	Legs resembling a cat, uses front	Nods and rotates left-right	O	Eye movement and blinking as part of the graphical user interface, enhancing	Mimics cat sounds for various effects, recognizing emotional states and	Responds to user touch by moving head or raising front legs for gestures
A9		mofin	2021	Animal	X	X	X	X	Wriggling/Twisting Motion	O	X	Expresses reactions to human touch through sounds mimicking baby	Uses multiple joint movements to simulate animal-like motion,
A10		loona	2022	Animal	X	2D (facial expressions)	X	X	O	Short mechanical tones for feedback	Communicates through a variety of facial expressions on display	Responds with characteristic mechanical sounds, follows like a pet	Recognizes gestures: raises paw like a puppy when hand is extended, charges like a bull

〈Figure 3〉 Animal-form Robots

No.	Fig.	Name	Release Year	Appearance	Communication							GUI(Graphic User Interface)	AUI(Audio User Interface)	NUI(Natural User Interface)
					Verbal Language		Non-verbal			Sound				
					English, Etc.	Eyes(2D), Facial Expressions(3D)	Light	Arms	Head	Effect				
C1		leka	2016	Character	X	2D	Straps on the head and around the	X	Round-body movement	Single sound. Machine sound	Express your emotions by expressing your face on the display	Music playback functions produce effects as a reward for children's behavior	Hide-and-seek function, application interworking to take rotating, vibrating, rolling motion	
C2		cinnamon	2017	Character	O	O	O	X	X	X	Video message playback and video call function enable communication with natural emotional	The robot is equipped with Chat GPT, which enables natural emotional	Slow movement and no body movement other than head movement. Find the user and	
C3		kebbi	2018	Character	O	2D	Eyes, Face, Torso	Shoulders (2 axes), Elbows (1 axis)	Nod, Left-Right	Sound effect when screen touched	Facial display GUI with expression, power functions via touch	AI Conversational Interaction	X	
C4		misty	2018	Character	O	2D	Torso, Face	Up-Down	3-axis	Sound effect upon arrival to user	Facial display GUI with expression	AI Conversational Interaction	X	
C5		lovot	2018	Character	X	2.5D (embedded structure)	X	O	O	Animal sounds	Natural eye contact with six-layer display, allowing eye movement, blinking	Simulated digital synthesizer mimicking resonant sounds within the	Smooth joint movements mimicking biological motion; blinks and yawns to simulate	
C6		misa	2020	Character	O	2D	Torso with action button	X	X	X	GUI utilized for settings and other functions	AI Conversational Interaction	X	
C7		charlie	2020	Character	Vocaloid-based Japanese	X	O	Legs instead of arms	Left-right rotation, nodding	O	X	Vocaloid-based Japanese voice	Emotions expressed through leg and head movements	
C8		elik	2021	Character	O	2D	X	Up-Down	Left-Right	Sound effects matching GUI (e.g., buzzing for electricity)	Facial display with expression GUI	Simple phrases like "OK" and "NO", accepts voice input	Shows fear when filled, dizziness when shocked or overwhelmed	
C9		miko 3	2021	Character	Conversational after recognition	2D (Eyes and Mouth, with expressions)	X	X	X	Alerts when called with "Hello Miko," and sound effects	Touchscreen capable; displays facial expressions and content, with over 40	Understands and executes user commands; uses voice for feedback and	Recognizes user expressions, gestures, and voice; expresses various emotions through	
C10		ebo x	2024	Character	O	2D	Along face line	X	X	Mechanical tone notification after voice recognition	Facial display with expression GUI and status indicators	AI conversational interaction	X	

〈Figure 4〉 Character-form Robots

No.	Fig.	Name	Release Year	Appearance	Communication						GUI(Graphic User Interface)	AUI(Audio User Interface)	NUI(Natural User Interface)
					Verbal Language	Non-verbal				Sound			
						Gesture							
					English, Etc.	Eyes(2D), Facial Expressions(3D)	Light	Arms	Head				
F1		Silbot	2016	Functional	Korean, English	2D	Yes (bottom section)	Yes	Yes	None	Uses 3D avatar	Enhanced cognitive training through voice and motion recognition	Expresses emotions through facial GUI
F2		jibo	2016	Functional	Engages in conversation after voice	2D with spherical eyes, acts as expressions and	Connects torso and base	X	3-axis motor for movement	Mechanical sounds and camera shutter noise	Screen with no touch; visual information through simple shapes, animations,	Recognizes commands via voice, responds verbally	Interacts through voice, gesture, and facial recognition; turns head to follow user's face
F3		Mario	2017	Functional	O	2D with blinking eyes	X	Holds a fixed display, immobile	X		Touchscreen for dementia prevention games and memory recall images	Converses with user in English	Enables natural conversation and realistic eye blinking
F4		zenbo	2017	Functional	Engages in conversation following voice	2D with eyebrows, eyes, mouth for expressions	Wheels for movement	X	Rotates left, right, up, down	Notification sound when called with "Hey Jinbo";	Touchscreen capable; displays facial expressions and content	Recognizes commands through voice and executes	Interacts with users through facial and motion recognition, moves to specific locations on
F5		Temi	2019	Functional	O	2D	X	X	Nodding	X	Displays task details via subtitles and images, with situation-appropriate facial	Connects to a voice assistant for conversation	Provides guidance to the user's desired location, uses rear storage compartment to deliver
F6		Bomi1	2020	Functional	Korean, English	2D	Yes (bottom section)	None	O	X	Large screen (13.3 inches), designed for easy viewing by seniors	ChatGPT-based voice recognition to understand user commands	Emotion expression through facial GUI
F7		QLOI GuideBot	2021	Functional	O	2D	LED at bottom section	X	O	X	Dual body displays for providing guidance and advertisements	Equipped with docent functions for museums and exhibitions, offering	Natural interaction through eye expression GUI
F8		Rookie	2021	Functional	X	2D	Body fold lines, rear LED for signaling,	X	X	X	Design conveys a solid and concise form with decorative elements for	X	Communicates with people via eye GUI
F9		Handy	2022	Functional	X	O	LED located at the bottom section	O	O	X	O	X	Interaction through arm movements and facial GUI
F10		Robo Wise	2023	Functional	Provides guidance through voice	2D eyes	Ambient light on body (no specific)	X	X	X	Interface for tasks the robot cannot perform (e.g., retrieving or placing food)	GUI instructions conveyed through voice guidance	Capable of natural avoidance of obstacles and people through spatial awareness

〈Figure 5〉 Functional-form Robots

4.1.1. 텍스트마이닝

정리된 자연어 문장을 NLTK 방식으로 주요 키워드로 요약한 후 단어 빈도로 정리하였다. 이를 명사 및 형용사로 추출하였다. 특정한 표현 관련성 없이 추출된 키워드는 판단하여 제거하였다. 또한 각 키워드 중 5번 이상 반복되어 등장한 키워드는 굵은 글씨로 강조하여 나타내었다. 이를 통해 Humanoid는 AI 및 음성 인터페이스를, Animal은 제스처, 교감, 비언어 관련, Character는 디스플레이, 움직임, 소리, GUI 및 얼굴(표정) 표현 관련, Functional은 목소리, 얼굴(표정), 음성인식 관련 경향이 있음을 확인 가능하다.

〈Table 12〉 Frequency of Feature Keywords by Forms

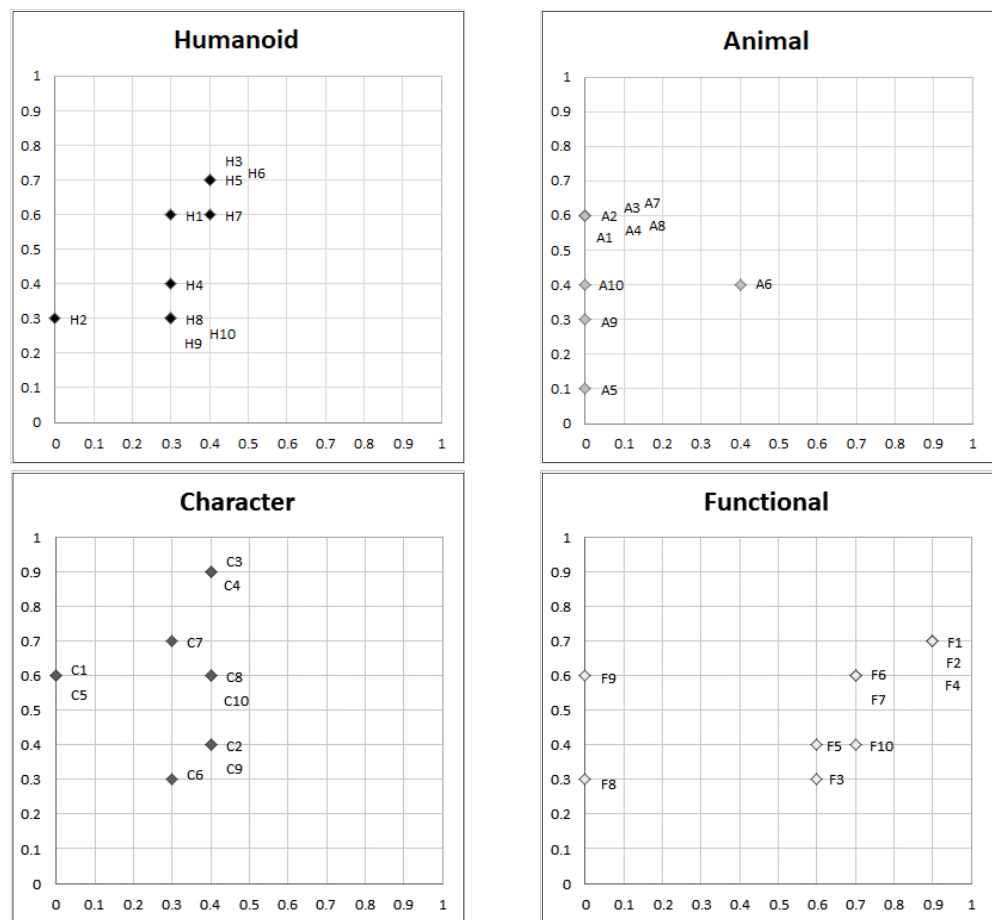
외형	키워드
Humanoid	AI(7), Voice(7), Recognition(7), 2D(6), Eyes(5), User(5) Robot(4), Natural(4), Commands(4), Movements(4), Language(4), 3D(4), Left(4), Right(4), Sensor(4) Face(3), Human-like(3), Arm(3), Display(3), Expression(3), Shape(3), Lift(3), Understand(3), Communicate(3), Visualize(3) Interactive(2), NUI(2), Processing(2), Ability(2), Move(2), Nodding(2), Respond(2), Interactions(2), Nonverbal(2), Facial(2), Touch(2)
Animal	gestures(13), expressions(11), interaction(10), movements(10), facial(10), user(10), sounds(8), puppy(7), touch(6), cat(6), head(6), based(5), tail(5), when(5), natural(5), non-verbal(5), hand(5), like(5), real(4), dog(4), including(4), blinking(4), resembles(4), during(4), communicates(4), responds(4), emotional(4), change(3), display(3), wagging(3), barking(3), rotates(3), emotions(3), eyes(6), communication(3), naturally(3), interactions(3), voice(3), responses(3), animal-like(3), legs(3), mimics(2), behavior(2), toys(2)

Character	display(8), 2d(7), movement(6), sound(6), GUI(6), face(9), conversational(5), expressions(5), voice(5), expression(4), AI(4), interaction(4), head(3), body(3), emotions(3), behavior(3), functions(3), effects(3), eye(3), icon(2), playback(2), children(2), motion(2), video(2), communication(2), robot(2), natural(2), screen(2), mimicking(2), mouth(2)
Functional	voice(10), 2d(9), facial(7), recognition(6), GUI(6), eyes(8), user(5), bottom(4), conversation(4), displays(4), commands(4), guidance(4), expressions(3), camera(3), shutter(3), screen(3), blinking(3), specific(3), natural(3), led(3), body(3), motion(2), information(2), connects(2), movement(2), sounds(2), noise(2), emotion(2), recognizes(2), responds(2), interacts(2), display(2), touchscreen(2), images(2), wheels(2), capable(2), perform(2), provides(2), rear(2)

4.2. 데이터 정량화

4.2.1. 산포도(Dispersion)

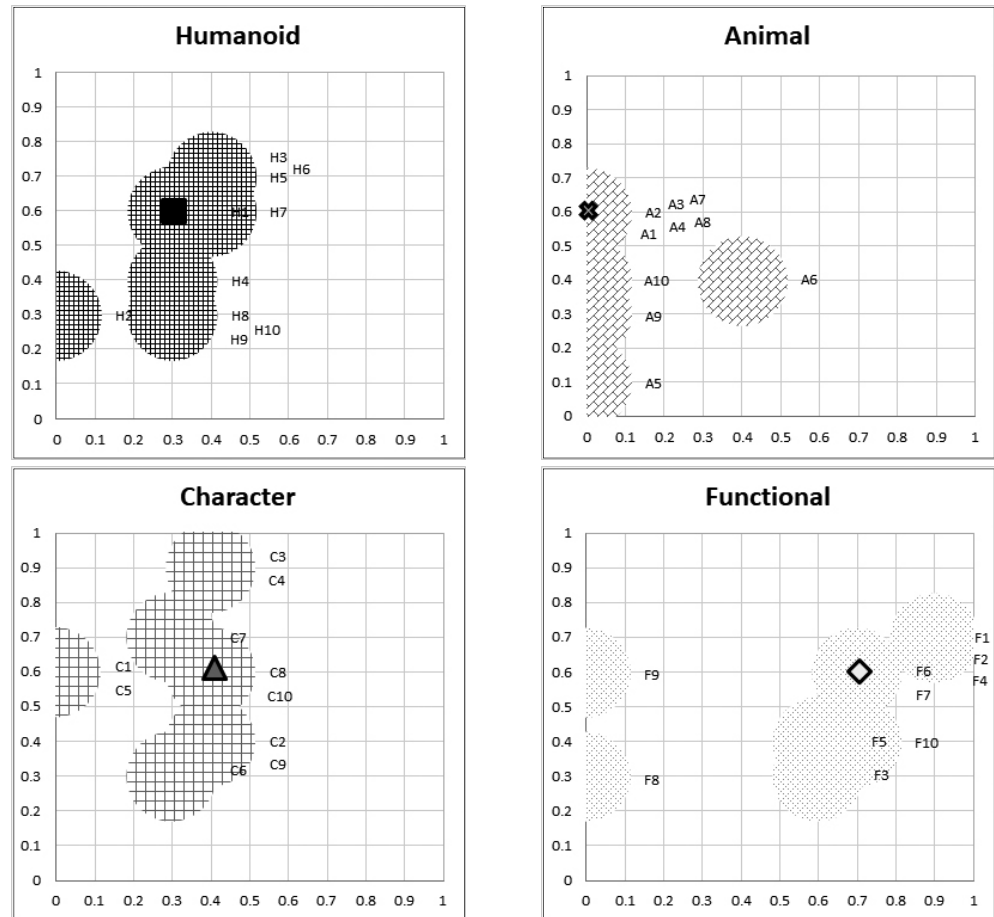
정리된 로봇의 정보를 사전에 입력된 기준에 따라 데이터를 정량화하고 점수화 후 산포도로 나타내었다. 가독성을 위해 로봇 이름 대신 번호를 붙여 표현했다.



〈Figure 6〉 Dispersion

4.2.2. 대푯값(Representative Value)

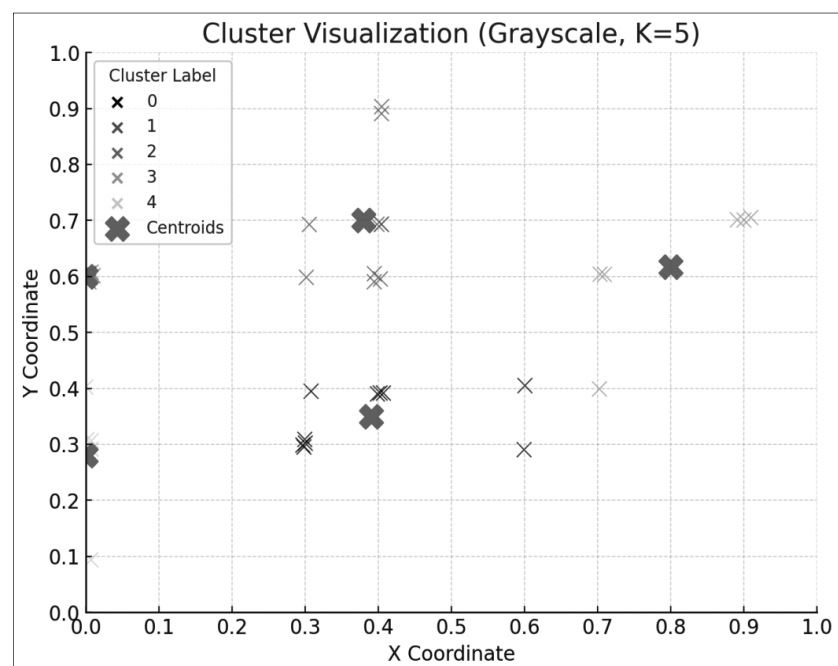
버블 형식으로 경향성을 쉽게 식별할 수 있도록 표현하였다. 또한, 표 내에 도형 시각화를 통해 중위값을 표현하였다(■Humanoid, ×Animal, ▲Character, ◇Functional). 중위값(Median) 표현 시 불필요하게 값에 영향을 주는 이상치(Outlier)를 포함하지 않았다. 아래의 도표를 통해 각 외형별 언어-비언어 사용 강도를 확인할 수 있다.



〈Figure 7〉 Representative Value

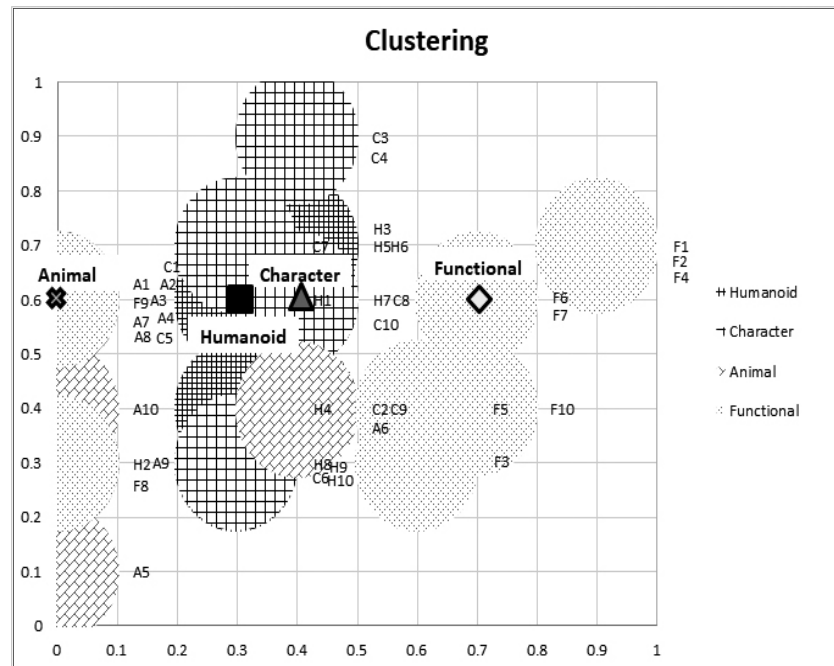
4.2.3. 군집(Clustering)

소셜 로봇의 외형별 언어(X)-비언어(Y) 특징이 적절하게 잘 분포되었는지 검증을 위해 선행으로 Silhouette Analysis를 수행하였다. 분석은 Python의 sklearn 라이브러리를 활용하였으며, 군집 경향성 판별 척도는 Silhouette Score를 사용하였다.



〈Figure 8〉 Clustering - Silhouette Analysis

현재 데이터는 외형별로 4개의 집단을 먼저 분류한 후 각각 데이터를 확보하였으므로 사전 가정을 배제한 분석을 수행하기 위해 전체 데이터를 통합하여 분석을 수행하였다. <Figure 9>과 동일한 경향의 군집을 이루는지 보기 위해 이상치(Outlier)를 모두 포함하고 분석을 진행하였다. 분석 결과, 최적 클러스터 개수(K)는 5개(Optimal K = 5)로 확인되었으며, Silhouette Score는 0.66으로 도출되어 0.7에 근접한 값을 보였다. 일반적으로 Score가 0.7 이상일 경우 군집이 적절하게 형성된 것으로 간주하며(Rousseeuw, 1987), 이는 외형을 사전 분류하지 않고 데이터 기반으로 클러스터링을 수행하더라도 군집 특성이 유지됨을 시사한다.



<Figure 9> Clustering by Forms

또한, 군집 적절성을 보기 위해 Silhouette Analysis를 수행한 <Figure 8>과, 외형별 산포도 경향<Figure 7>을 시각적으로 한눈에 볼 수 있도록 정리한 <Figure 9>를 함께 고찰하였다. Animal은 좌표값이 (0.6, 0)으로 완전 동일, Functional 외형은 좌표값이 <Figure 8>에선 (0.8, 0.6) <Figure 9>에선 (0.7, 0.6)로 분류 결과가 유사하게 나타나 두 외형의 군집 경향이 잘 구분됨을 확인하였다. 반면, Humanoid 및 Character 외형의 경우 동일한 Centroid 영역에 위치하여 점수화된 기준만으로 명확한 군집 경향을 보기 어렵다는 점을 시사한다.

4.3. 결과

4.3.1. 가설 검증

먼저, 가설 검증은 다음과 같이 확인되었다. 이를 표로 정리하였다.

<Table 13> Hypothesis Testing

가설		관련 표, 그림 Table 12 Figure 6, 7, 8, 9	검증 여부
정보 전달 - 언어 관련성			예
감정 표현 - 비언어 관련성			예
외형 - 커뮤니케이션	자연어 처리 텍스트마이닝		예: Animal, Functional 가능
	정량화(산포도, 클러스터링)		
외형 - 커뮤니케이션 - 사회적 관계 유형		예: Animal 가능	

4.3.2. 분석 결과

본 연구에서 도출된 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 로봇 외형에 따른 커뮤니케이션 방식의 선택 경향성이 Animal과 Functional 외형을 중심으로 나타났다. Animal 외형의 로봇은 주로 비언어 커뮤니케이션 방식을 사용했으며, Functional 외형은 언어적 커뮤니케이션 방식을 중심으로 사용했다. 반면, Character 외형과 Humanoid 외형에서는 언어·비언어 커뮤니케이션 방식이 혼합적으로 나타나, 외형에 따른 명확한 구분이 어려웠다. 또한, 군집 분석에서도 이 두 외형은 유사한 패턴을 보여 일관성이 약한 것으로 나타났다. 둘째, 커뮤니케이션 방식 내 세부 구성 요인의 경향성과 UI 유형별 주요 특징을 확인할 수 있었다. 셋째, 사회적 관계 유형 분석에서는 사회적 환기형(Socially Evocative)이 감성적 인터랙션을 강화하는 데 기여하는 것으로 나타났다. 그 외 사회적 관계 유형은 감성적 인터랙션 강화에 대한 명확한 기여도가 낮았으며, 특히 Functional 외형을 특정 사회적 관계 유형으로 직접 연결하기에는 논리적으로 한계가 있었다. 따라서, Animal 외형과 비언어 커뮤니케이션의 조합 그리고 사회적 환기형 유형의 특징이 감성적 인터랙션 중심의 로봇 설계에 가장 적합한 것으로 판단되며 이를 표로 정리하였다.

〈Table 14〉 Results Summary

외형	커뮤니케이션	비언어 신호 구성 요인	사회적 관계 유형	사회적 관계 유형 특징	UI 유형
A	NV	Kinesics(신체 움직임, 제스처), Vocalics(짖음, 울음소리) Oculistics(눈 움직임, 시선, 눈 맞춤) Proxemics(근접거리 터치 상호 반응)	사회적 환기형 (Socially Evocative)	사용자가 로봇을 보살핌과 돌봄의 대상으로 바라봄. 소셜 로봇은 사용자에게 정서적 반응을 유도.	AUI(울음소리, 짖음), NUI(움직임, 꼬리 흔들기, 터치 교감)

5. 결론

5.1. 연구 요약

본 연구는 사용자-로봇 간 효과적인 감성적 인터랙션 강화를 위해 소셜 로봇의 외형, 비언어 커뮤니케이션 방식, 사회적 관계 유형 간 최적의 조합을 도출하고자 하였다. 특히, 비언어 커뮤니케이션 방식이 사용자와의 정서적 유대 형성에 유리함에 주목하였다. 분석 결과, Animal 외형 로봇이 비언어 신호를 중심으로 사회적 환기형(Socially Evocative) 유형과 결합할 때 감성적 인터랙션을 가장 효과적으로 수행할 수 있음을 확인하였다. 해당 결과의 방향은 로봇 외형과 커뮤니케이션 방식이 사용자의 로봇 인식과 사회적 상호작용 목적 인지에 긍정적인 영향을 미친다는 기존 선행 연구(Goetz et al. 2003; Fong et al. 2003; Kang & Jun, 2022)방향과도 일치한다. 따라서 본 연구를 통해 감성적 인터랙션 중심의 로봇 설계에 실질적 설계 방향을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 다만, 향후 연구의 실효성을 높이기 위해 후속 연구로서 실제 환경에서의 추가적인 검증과 사용자 평가 기반 연구가 필요하다.

5.2. 연구의 한계

첫째, 본 연구는 문헌과 시연 영상 기반의 분석으로 실제 사용 환경에서의 사용자 인터랙션 평가가 부족하였다. 둘째, 텍스트마이닝 기반 정량 평가 방법의 한계로 인해 감성적 인터랙션의 질적 특성을 충분히 반영하지 못했다. 셋째, Humanoid와 Character 외형 로봇의 경우 언어·비언어 커뮤니케이션이 혼합적으로 나타나 명확한 구분 및 연구 결과의 일반화에 어려움이 있었다.

5.3. 후속 연구 방향

연구의 한계를 보완하기 위해 후속 연구는 다음과 같은 방향으로 진행될 필요가 있다.

첫째, 실사용 환경에서의 평가가 요구된다. 예를 들면 가정, 공공시설, 의료 환경 등에서 로봇과 사용자의 인터랙션을 직접적으로 검토하여 실용적인 설계 방안을 마련해야 하며, 그것을 대체하기 위해 선행적으로 가상 환경을 이용한 인터랙션을 검토할 수 있다(Cleaver et al. 2020). 둘째, 현재 사용된 정량·정성 평가 체계를 개선해야 한다. 텍스트마이닝 기반 데이터의 정량적 분석 한계를 보완하기 위해 전문가 평가 및 사용자 피드백을 반영한 정성적 평가를 추가하여 좀 더 면밀한 감성적 인터랙션 효과의 측정이 이루어질 필요가 있다. 현재의 분석은 제한된 환경과 기술을 기반으로 수행되었기 때문에, Qoobo(A5)와 Muffin(A9)과 같이 기술 수준과 무관하게 감성적 인터랙션 효과가 나타나는 사례에 대한 적절성을 평가하기에는 한계가 있었다. 또한, H4, H7, H8, H9, H10과 같이 인간과 매우 유사할 정도로 언어-비언어 커뮤니케이션 능력이 높고 다양한 제스처를 사용하는 로봇의 역량이 정확하게 점수로 반영되지 않았다고 판단한다. 셋째, 로봇 외형 분류 기준을 명확히 정의해야 한다. 선행 연구 기준에 따라 Humanoid 외형을 가진 로봇이 다리 대신 바퀴를 사용하는 경우엔 Character로 분류되는 등 외형 분류 기준이 명확하지 않았다. 이때 그룹화가 이루어진 상태에서 분석되어 외형별 특성 분류에 한계가 있었다고 판단된다. 넷째, 비언어 신호의 최적화 연구가 필요하다. 도출된 주요 신호 요인인 Kinesics(신체 움직임), Vocalics(단순 사운드), Oculistics(시선 및 눈 맞춤), Proxemics(근접 거리 인터랙션)를 적극 활용하여 최소한의 모션으로 감정 표현의 명확성과 자연스러움을 유지하는 방안을 검토해야 한다.

References

- Abbas, A. N., & Beleznai, C. (2024). TalkWithMachines: Enhancing Human-Robot Interaction Through Large/Vision Language Models. *2024 Eighth IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)*, Tokyo, Japan, 253-258.
- Argyle, M. (2013). *Bodily communication*. Routledge.
- Barnlund, D. C. (1970). A transactional model of communication. In K. K. Sereno & C. D. Mortensen (Eds.), *Foundations of communication theory*. Harper & Row. 83-102.
- Bartneck, C., Kulić, D., Croft, E., & Zoghbi, S. (2009). Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots. *International Journal of Social Robotics*, 1(1), 71-81.
- Belpaeme, T., Kennedy, J., Baxter, P., & Smalley, S. (2018). Social robots for education: A review. *International Journal of Social Robotics*, 10(4), 679-708.
- Berlo, D. K. (1960). *The process of communication: An introduction to theory and practice*. Holt, Rinehart and Winston.
- Billard, A., & Dautenhahn, K. (1997). Grounding communication in situated, social robots. In *Proceedings Towards Intelligent Mobile Robots Conference*, Report No. UMCS-07-9-1, Department of Computer Science, Manchester University.
- Birdwhistell, R. L. (1970). *Kinesics and context: Essays on body motion communication*. University of Pennsylvania Press.
- Breazeal, C. (2003). Emotion and sociable humanoid robots. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1-2), 119-155.
- Breazeal, C. (2003). Toward sociable robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 42(3-4), 167-175.
- Breazeal, C., & Scassellati, B. (2003). How to build robots that make friends and influence people. *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2.

- Burgoon, J. K., Birk, T., & Pfau, M. (1990). Nonverbal behaviors, persuasion, and credibility. *Human Communication Research*, 17(1), 140–169.
- Burgoon, J. K., Buller, D. B., & Woodall, W. G. (1996). *Nonverbal communication: The unspoken dialogue*. McGraw-Hill.
- Cárdenas, P., García, J., Begazo, R., Aguilera, A., Dongo, I., & Cardinale, Y. (2024). Evaluation of robot emotion expressions for human-robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, 1–23.
- Cleaver, A., Tang, D., Chen, V., & Sinapov, J. (2020). HAVEN: A Unity-based virtual robot environment to showcase HRI-based augmented reality.
- Dautenhahn, K. (1998). The art of designing socially intelligent agents: Science, fiction, and the human in the loop. *Applied Artificial Intelligence*, 12(7–8), 573–617.
- Dautenhahn, K. (2007). Socially intelligent robots: Dimensions of human-robot interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1480), 679–704.
- Dautenhahn, K., Ogden, B., & Quick, T. (2002). From embodied to socially embedded agents—Implications for interaction-aware robots. *Cognitive Systems Research*, 3(3), 397–428.
- De Lima, E. S., & Feijó, B. (2019). Artificial intelligence in human-robot interaction. In: Ayanoğlu, H., Duarte, E. (Eds.), *Emotional design in human-robot interaction*. Springer. 187–199.
- Ekman, P., & Cordaro, D. (2011). What is meant by calling emotions basic. *Emotion Review*, 3(4), 364–370.
- Endo, N., Takizawa, K., Yamane, K., & Takanishi, A. (2008). Development of whole-body emotion expression humanoid robot KOBIAN. In *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2140–2145.
- Fong, T., Nourbakhsh, I., & Dautenhahn, K. (2003). A survey of socially interactive robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 42(3–4), 143–166.
- Fong, T., Thorpe, C., & Baur, C. (2003). Collaboration, dialogue, human-robot interaction. In *Robotics research: The tenth international symposium*. 255–266. Springer.
- Goetz, J., Kiesler, S., & Powers, A. (2003). Matching robot appearance and behavior to tasks to improve human-robot cooperation. In *12th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*. 55–60.
- Henschel, A., Laban, G., & Cross, E. S. (2021). What makes a robot social? A review of social robots from science fiction to a home or hospital near you. *Cognitive Robotics*, 2, 9–19.
- Hermann, T., Hunt, A., & Neuhoff, J. G. (Eds.). (2011). *The sonification handbook*. Logos Publishing House.
- ISO 8373:2012. (2012). Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>.
- Jonauskaitė, D., Althaus, B., Dael, N., Dan-Glauser, E., & Mohr, C. (2019). What color do you feel? Color choices are driven by mood. *Color Research & Application*, 44(2), 272–284.
- Kanda, T., Hirano, T., Eaton, D., & Ishiguro, H. (2004). Interactive robots as social partners and peer tutors for children: A field trial. *Human-Computer Interaction (Special Issues on Human-Robot Interaction)*, 19, 61–84.
- Kang, B., & Jun, S. (2022). User perception of social robot's emotional expression and forms of anthropomorphism. *Archives of Design Research*, 35(2), 137–153.
- Kim, H., & Pak, K. (2023). A study on nonverbal communication of social robots – focusing on emotional expression using movement. *Journal of Basic Design & Art*, 24(5), 95–110.
- Kim, N. & Pak, K. (2023). A case study on human-robot interaction for social robots – Focused on the design factors for social robots. *Communication Design Association of Korea*, 82, 431–444.
- Kim, W., & Chang, S. (2004). *Non-verbal communication*. Nanam.
- Knapp, M. L., Hall, J. A., & Horgan, T. G. (2013). *Nonverbal communication in human interaction (8th ed.)*. Cengage Learning.
- Latupeirissa, A. B., Panariello, C., & Bresin, R. (2020). Exploring emotion perception in sonic HRI. In *Sound and Music Computing Conference, Torino, 24–26 June 2020*. 434–441.

- 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.
- Leite, I., Martinho, C., & Paiva, A. (2013). Social Robots for Long-Term Interaction: A Survey. *International Journal of Social Robotics*, 5, 291 - 308.
- Mehrabian, A. (1972). *Nonverbal communication*. Routledge.
- Minh, T., Nguyen, T. T., & Nguyen, P. (2023). A comprehensive review: Interaction of appearance and behavior, artificial skin, and humanoid robots. *Journal of Robotics*, 5589845, 16 pages.
- Okimoto, J., & Niitsuma, M. (2020, June). Effects of auditory cues on human-robot collaboration. *In 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 1572-1577.
- Rossi, S., Dell' Aquila, E., & Bucci, B. (2019). Evaluating the emotional valence of affective sounds for child-robot interaction. *In Social Robotics: 11th International Conference, ICSR 2019, Madrid, Spain, November 26-29, 2019, Proceedings 11*, Springer International Publishing. 505-514.
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20, 53-65.
- Shatilov, K., & Chatzopoulos, D., & Lee, L., & Hui, P. (2019). Emerging Natural User Interfaces in Mobile Computing: A Bottoms-Up Survey.
- Shneiderman, B. (1983). Direct manipulation: A step beyond programming languages. *Computer*, 16(8), 57-69.
- Stathopoulou, I. O., & Tsihtintzis, G. A. (2011). Emotion recognition from body movements and gestures. *Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services Smart Innovation, Systems and Technologies*, 295-303.
- Thomaz, A. L., & Breazeal, C. (2008). Teachable robots: Understanding human teaching behavior to build more effective robot learners. *Artificial Intelligence*, 172(6-7), 716-737.
- Terada, K., Yano, Y., & Nagai, T. (2012). Robot's nonverbal behavior and emotional expression using interactive patterns. *In Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 1521-1526.
- Trenholm, S., & Jensen, A. (1999). *Interpersonal communication (4th ed.)*. Wadsworth Publishing.
- Wei, H., & Zhao, L. (2016). Emotional expression in social robots: Conveying emotions through LED color and arm gestures. *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, 85, 78-85.
- Youssef, K., Said, S., Alkork, S., & Beyrouthy, T. (2022). A survey on recent advances in social robotics. *Robotics*, 11(4), 75.
- Zitzewitz, J., Boesch, P. M., Wolf, P. et al. (2013). Quantifying the Human Likeness of a Humanoid Robot. *Int J of Soc Robotics* 5, 263-276.