

행위가독성¹(Legibility)을 고려한 인간-로봇 상호작용 기술 동향

장민수, 김재홍
한국전자통신연구원

요약

로봇의 활동 영역이 사람의 활동 영역과 점점 더 크게 겹쳐지면서 로봇이 사람과 무리없이 공존하는데 필요한 기술에 대한 요구가 심화되고 있다. 행위가독성은 겉으로 드러난 로봇의 행위를 기반으로 얼마나 쉽고 빠르게 로봇의 행위 의도를 판단할 수 있는지를 나타내는 지표로서 로봇과 상호작용하는 사람의 심리적이고 물리적인 부담을 최소화하는데 결정적인 요소로 받아들여지고 있다. 많은 연구를 통해 로봇 행위의 가독성이 높으면 사람이 더 빠르고 명료하게 로봇의 의도를 인지할 수 있고 그 결과 사람의 안전과 심리적 안정이 향상될 뿐 아니라 사람과 로봇 간 협업의 효율도 높아진다는 사실이 밝혀졌다. 이 글에서는 행위가독성의 개념을 소개하고 행위가독성을 향상하는 대표적인 연구 사례들을 살펴본다.

I. 서론

1999년 일본 Sony의 애완동물 로봇인 Aibo가 출시되고 2002년 미국 iRobot의 청소로봇 Roomba가 소개된 이래 로봇은 점차 사람이 거주하고 활동하는 공간으로 더 깊이 들어올 준비를 갖추고 있다[1][2]. 기존의 산업용 로봇이 사람의 활동 영역과 분리된 공간에서만 존재했다는 점을 감안하면 큰 변화가 찾아오고 있는 것이다. 가까운 시일 안에 본격적으로 로봇의 실용화가 이루어지면, 로봇은 예능, 교육, 의료, 안내 등 광범위한 분야에서 사람에게 유용한 가치를 제공하는 서비스 제공자의 역할을 수행할 뿐 아니라, 재난 방재, 소규모 다품종 생산, 물류 등의 분야에서는 사람이 더 높은 효율로 과업을 수행할 수 있도록 돕는 협력자 역할을 수행하게 된다. 로봇과 사람이 동일한

활동 공간 안에서 서로 소통하고 협력하고 부딪히며 공존하는 시대가 열리는 셈이다.

단, 사람과 로봇이 공존하는 시대가 현실이 되기 위해서는 사람들이 기꺼이 로봇을 자신의 공간 안에 수용할 만 하다는 확신이 전제되어야 할 것이다. 그러기 위해서는 사람들이 로봇에게 요구하는 특성이 무엇인지 파악하여 로봇에 구현해 넣어야 한다. 과연, 사람들이 로봇과 함께 공존하기 위해 로봇에게 요구하는 중요한 특성은 무엇일까?

2005년에 발표된 Deutenhahn의 연구는 하나의 해답을 제시한다[3]. 이 연구는 사람들이 미래의 가정용 로봇에 대해 어떤 역할과 기능적 특성을 요구하는지 알아보기 위한 설문 조사와 체험 실험을 포함한다.

설문 중 가장 중요한 문항은 로봇 행위의 예측 가능성(Predictability)에 대한 사람들의 의견을 묻는 문항이었다. 사람은 더 똑똑한 로봇을 선호할 것이라는 생각이 보편적이었기 때문에 로봇의 행위가 항상 예측 가능하다면 로봇에 대한 선호도가 떨어질 것으로 예상하였으나 결과는 반대로 나왔다. 로봇이 어느 정도 예측 가능했으면 좋은지를 5점 척도로 답하라는 문항에 응답자의 89%가 4점 또는 5점으로 응답했고 나머지 11%의 응답자는 3점을 선택한 것이다.

뿐만 아니라 응답자들은 로봇을 자신의 지시와 관리에 따르는 통제 가능한 존재이길 바라는 것으로 나타났다. 사람들은 로봇이 친구나 동반자의 역할보다는 도우미, 기계, 또는 하인의 역할을 해주기를 바랐다.

이와 같은 의외의 결과는 사람들이 로봇 행위의 예측 가능성을 얼마나 중요하게 생각하는지 반증하는 단적인 근거로 자주 언급된다.

2011년에 발표된 Eyssel의 연구는 사람들이 예측 가능한 로봇을 선호한다는 점을 거듭 검증했다[4]. 이 연구는 사람들에게 로봇의 기능에 대한 설명을 제시한 후 일련의 질문에 응답하는 방식으로 이루어졌다. 우선 피실험자들을 두 그룹으로 나눈 뒤 한 그룹에게는 로봇이 행위를 실행할 때 임의의 선택 방식을 채택하기 때문에 완벽하게 로봇의 행위를 예측할 수 없다는 설명을 제공하고 다른 그룹에게는 반대로 로봇의 행위가 항상 규칙

1. Legibility는 문장의 가독성을 뜻한다. 문장을 얼마나 이해하기 쉽게 작성했는지 여부를 가리킨다. 본 고에서는 로봇 분야에서 이 단어가 활용되는 맥락을 고려하여 "행위가독성"으로 번역하였다. 다만 "행위"가 명백히 암시되는 문맥에서는 "행위"를 빼고 "가독성"만 적기도 하였다.

에 따라 이루어지기 때문에 항상 예측 가능하다는 설명을 제공했다. 다양한 설문 문항을 통해 조사한 결과 사람들은 일관되게 예측 가능한 로봇과 상호작용하는 것을 선호했다.

예측 가능성(Predictability)은 로봇이 어떤 의도와 목표를 가지고 행위를 수행하는지 사람이 빠르고 손쉽게 알 수 있어야 한다는 특성을 가리키는 용어로서 가독성(Readability), 예측성(Anticipatory), 행위가독성(Legibility) 등 다양한 용어로 기술되어 왔다. 여기서는 최근에 가장 널리 활용되고 있는 행위가독성(Legibility)을 대표 용어로 채택하여 사용하고자 한다.

이 글에서는 로봇과 사람이 공존하는 환경 하에서 로봇이 갖춰야 할 가장 중요한 특성 중 하나인 행위가독성에 관련된 연구 동향을 다루고자 한다. 2장에서는 행위가독성의 의미를 정의하고, 3장에서는 행위가독성을 보장하기 위한 대표적 연구 사례를 정리한다. 4장에서는 행위가독성을 정량적으로 측정하기 위한 시도들을 소개하고, 5장에서 결론을 맺는다. 이 글의 흐름과 내용은 상당 부분 Lichtenthaler의 논문[22]을 참조하여 작성했음을 밝힌다.

II. 행위가독성(Legibility)의 정의

행위가독성은 비교적 최근에 소개된 개념이기 때문에 아직 일반적으로 받아들여지는 정의가 없다. 최초의 정의는 2005년에 등장했는데 행위가독성을 “사람이 로봇 행위를 얼마나 정확하게 이해하여 예측할 수 있는지를 가리키는 지표”로 정의하였다[5]. 이후 많은 연구자들이 유사하지만 조금씩 다르게 행위가독성을 정의했다. 그 내역을 <표 1>에 정리하였다.

Lichtenthaler 등은 <표 1>의 내용을 종합하여 행위가독성을 결정하는 기본 요소로 “의도 이해”와 “기대 충족”을 꼽았다. 이들의 정의에 의하면, 사람이 로봇 행위를 관찰함으로써 로봇의 의도를 이해할 수 있을 뿐 아니라, 로봇의 행위가 사람이 예측 또는 기대한 로봇의 의도를 충족하는 결과를 산출하였다면 그 행위는 행위가독성이 높은 행위라고 할 수 있다[22].

사람과 공존하는 로봇의 행위가독성이 높다면 사람들이 로봇의 동작 때문에 놀랄 일이 줄어들고 로봇의 동작으로 인해 다칠 가능성도 낮아질 것이다. 행위가독성이 높은 로봇이 특정 사용자에게 물건을 건네주는 상황을 상상해 보자. 물건을 건네 받을 사람뿐 아니라 관찰자들도 로봇의 팔 움직임을 보고 로봇이 물건을 누구에게 건네주려 한다는 것을 손쉽게 알아챌 수 있다. 그리고, 높은 확률로 그 로봇은 사람들이 기대한 대로 예측한 사용자에게 물건을 성공적으로 건네준다.

표 1. 로봇 행위 가독성의 각종 정의

출처	가독성 높은 행위 또는 행위가독성이 높은 상태의 의미 정의
[6]	로봇이 자신이 수행하는 작업(Task)의 내용을 설명할 수 있는 능력
[7]	사람이 로봇의 행위를 관찰함으로써 로봇의 행위 의도를 용이하게 판단할 수 있는 상태
[8]	로봇의 행위를 사람이 직관적으로 이해할 수 있는 상태
[9]	사람이 로봇과 추가적인 교류 없이 로봇의 의도를 명료하게 이해할 수 있는 상태
[10]	사람이 로봇 동작의 의도를 인식할 수 있는 상태
[11]	사람이 로봇 동작을 관찰해서 로봇이 향하고 있는 공간적 목적지를 알아낼 수 있는 상태
[12]	로봇의 의도를 명료하게 표현할 수 있는 능력
[13]	일반인이 사전 정보 없이 로봇 행동을 이해하고 예측할 수 있는 상태
[14]	사람이 정확하게 로봇의 다음 행동, 목표, 의도를 유추할 수 있을 뿐 아니라 로봇 행위가 사용자가 예측한 내용을 충족시키는 상태
[15]	로봇이 어떤 행동을 하고 있는지 이해하고 무슨 행동을 할 지 예측할 수 있으며 사람과 효과적으로 상호작용하는 상태

III. 가독성 높은 로봇 행위 생성 방법

가독성이 높은 행위를 생성하기 위해 취하는 가장 기본적인 전략은 사람이 행동하는 방식을 모방하는 전략이다. 사람은 사람의 행동 방식에 익숙하므로 로봇이 사람을 흉내 내면 사람이 이해하기 쉽다는 가정이 전제된다. 예를 들어, 사용자 연구에 의하면 사람은 물건을 건네줄 때 특정 순서와 시간 간격으로 물건을 건넨 상대방과 물건에 시선을 집중하고 특정 시점에 잠시 시간을 지연하면서 물건을 든 팔을 상대방에게 뻗는다고 한다[16]. 이와 같은 사람의 상호작용 방식은 무의식적이든 의식적이든 어떤 기제를 통해 사람에게 내재화 되었을 것인데 사람이 타인에게 자신의 행위 의도를 자연스럽게 명료하게 전달하는 효과적인 방법이라고 볼 수 있으며, 로봇을 이용하여 물건을 건네주는 행위를 구현할 때 이러한 사람의 동작 패턴을 그대로 흉내 내도록 만들면 물건을 받는 사람이 보다 명확하게 로봇의 의도를 파악할 수 있을 것이라고 가정할 수 있다.

기본 전략에 덧붙여 상호작용 대상자의 특성을 추가로 반영하여 가독성을 향상시킬 수 있다[8]. 예를 들어, 상호작용 상대방의 신체 특성에 따라 관찰 가능한 시야 범위가 달라질 수 있다. 로봇은 되도록 상대방의 시야 범위 안에서 동작을 수행하도록

행위를 제어함으로써 상대방에게 더 높은 가독성을 제공할 수 있다.

1. 주행 분야의 행위가독성

프랑스 국립과학연구센터 시스템 분석과 구조 연구소(LAAS-CNRS)는 가독성을 고려한 인간-로봇 상호작용 기술에 관한 연구 활동을 선구적으로 이끌었다. 2005년부터 사람과 로봇이 공존하는 공간 안에서 사람의 안전(safe)과 편안함(comfort)을 고려한 주행 기술을 개발하기 시작하여 2007년에 사람을 인지하여 주행 경로를 계획하는 HAMP (Human-Aware Motion Planner)를 발표하였다[7].

HAMP는 공간 내에서 사람을 검출하고 검출된 사람 주변에 가상의 공간 구조인 안전망(Safety Grid)과 가시망(Visibility Grid)을 구성하여 주행 경로 계획에 활용한다. 로봇은 안전망을 참조하여 사람의 안전을 위협할 수 있는 공간에 들어가지 않는다. 가시망을 통해서도 되도록 사람의 가시 범위에 들어갈 확률이 높은 경로를 선택한다. 보이지 않는 공간에서 움직임이 느껴지면 사람은 불안함을 느끼기 때문이다. 안전망과 가시망의 데이터 값은 경로 최적화를 위한 비용 함수의 입력으로 활용된다.

〈그림 1〉은 행위가독성을 고려한 HAMP 기술과 기존 기술의 차이점을 보여준다. 〈그림 1(a)〉는 기존 주행 기술을 통해 생성한 이동 경로이다. 일반적으로 널리 활용하는 A*와 같은 최적화 알고리즘을 사용한 예로서 이동 거리 또는 시간을 최소화하는 경로를 택한다. 〈그림 1(b)〉에 보인 경로는 HAMP에 의해 생성된 경로로 〈그림 1(a)〉의 경로에 비해 이동 거리가 훨씬 길고 복잡하다. 그러나, 사용자 뒤쪽으로 움직이는 경로를 포기함으로써 사용자가 불안해할 수 있는 요소를 줄였고, 되도록 빨리 사용자의 가시 범위 안으로 돌입함과 동시에 회전 시 사용자와 거리를 유지함으로써 이동중 사용자와 접촉할 수 있는 가능성을 최소화했음을 볼 수 있다.

뮌헨공대는 HAMP를 확장하여 이동 중인 사람이 존재하는 상황에서도 행위가독성이 높은 주행을 가능하게 하였다. 기존의 HAMP는 의자에 앉아있거나 이동하지 않고 서 있는 사람들만 대응할 수 있었다. 먼저 경로 생성에 적용했던 안전망을 경로 추적 부분으로 옮겨 사람의 위치가 동적으로 변하는 상황에 대응하게 하였다. 또한 현재 이동 상황을 고려하여 사람의 미래 이동 경로를 예측함으로써 로봇이 사람의 이동을 방해하지 않도록 만들었다[17].

2. 조작 분야의 행위가독성

뮌헨공대 연구팀은 사람이 물건을 잡고 옮기는 동작이 오랜

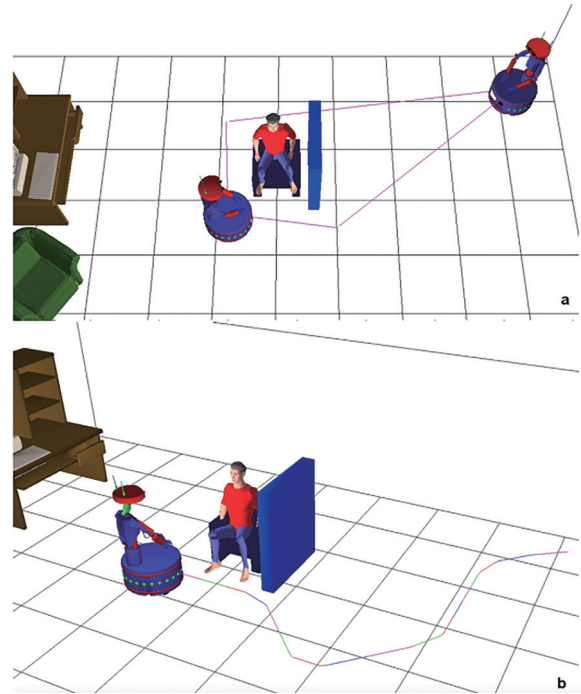


그림 1. 기존 기술(a)과 HAMP(b)에 의해 생성된 주행 경로 비교

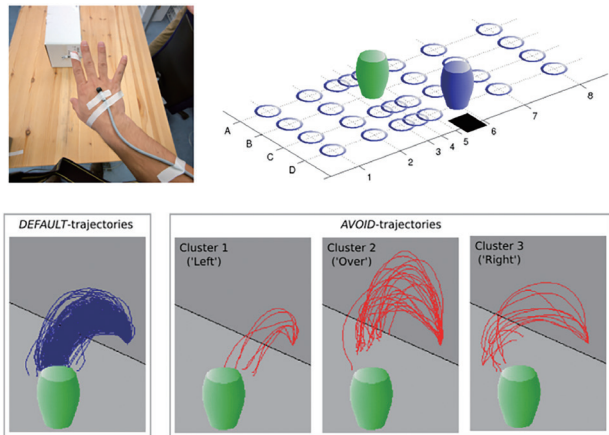


그림 2. 사람의 조작 행위 수집 환경과 수집된 장애물 회피 궤적 데이터

기간에 걸쳐 잠재적으로 최적화된 전형적인 패턴을 따른다는 관찰 하에 사람의 조작 동작을 모사하는 조작 모델을 개발했다. 사람을 모사한 조작 동작은 행위가독성을 개선할 뿐 아니라 조작의 성공율과 효율도 개선한다는 가정을 전제로 하였다 [10].

연구진은 먼저 장애물이 있을 때와 없을 때 각각의 상황에서 사람이 물건을 잡기 위해 손을 뻗는 동작의 궤적 데이터를 수집하였다. 그런 다음 유사도에 따라 궤적들을 군집화하여 전형적 동작 (Stereotypical Motion) 라이브러리를 도출했다. 〈그림 2〉 하단의 오른쪽에 보이는 세 개의 궤적 그룹(AVOID-

trajectories)이 근접화를 통해 도출된 전형적 동작 궤적으로서 DMP(Dynamic Movement Primitives)라고 부른다. DMP는 로봇이 물건을 잡기 위해 팔을 뻗을 때 따라야 할 궤적을 생성하는데 활용된다. 연구진은 이러한 접근 방법을 통해 가독성이 높은 조작 행위를 생성할 수 있다고 주장하였다.

HAMP를 개발한 LAAS-CNRS 연구팀은 사람의 운동학 특성(Kinematics), 가시 범위(Vision Field), 자세, 신호 정보를 기반으로 안전과 편의성을 보장할 뿐 아니라 "사회적 수용성이 높은(Socially Acceptable)" 동작 궤적을 생성하는 조작 기술을 개발하였다[12]. 연구팀은 이 기술을 물건 건네주기(Hand-Over) 시나리오에 적용하였는데, 그 실행 과정은 크게 세 단계로 구성된다. 1단계에서 로봇은 물건을 전달할 위치의 좌표를 계산한다. 좌표 계산을 위해 두 개의 비용 함수가 활용된다. 첫째는 사용자의 안전도와 가시성을 고려하며, 둘째는 운동학 특성을 기반으로 사용자가 팔을 뻗어 물건을 받기 위해 필요한 비용(arm comfort cost)을 고려한다. 2단계에서 로봇은 물건을 전달 위치까지 이동시킬 경로를 계산한다. 경로를 생성하기 위

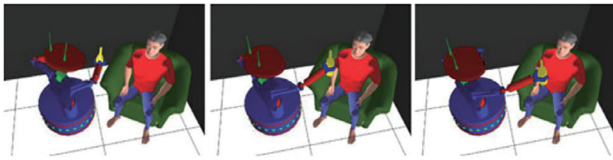


그림 3. 경로 최적화에 의한 물건 전달 과정 [10]

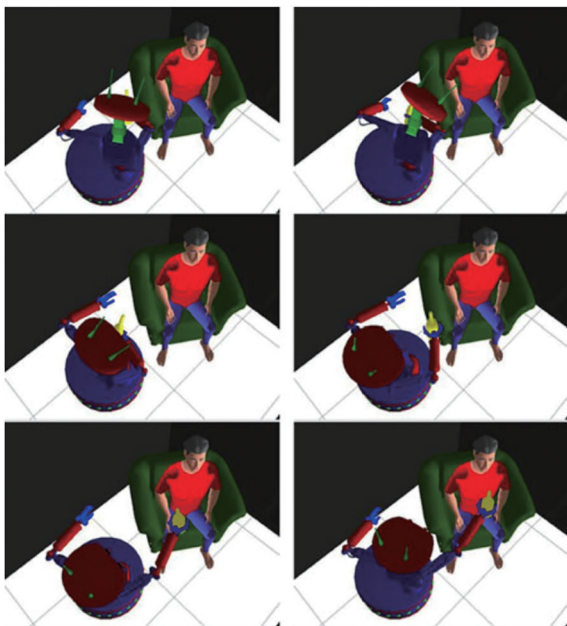


그림 4. 가독성을 고려한 물건 전달 과정 [10]

해 로봇은 A* 알고리즘과 사용자 안전도, 가시성을 모두 고려한다. 3단계에서 로봇은 2단계에서 계산한 경로를 따라 물건을 이동시키기 위한 로봇 팔 동작을 계획한다. 이 기술을 적용한 조건과 적용하지 않은 조건으로 실험을 수행한 결과에 의하면, 피실험자들은 기술을 적용한 조건 하에서 로봇의 행위 의도를 더 빨리 이해하여 반응했다고 한다.

시선 처리와 같은 보조 동작이 행위가독성을 높이는 주요 요인이 되기도 한다. 앞서 소개한 LAAS-CNRS 연구팀은 로봇이 팔을 뻗어 물건을 전달 위치로 옮기기 전에 물건에 시선을 맞추는 다음 사용자에게 시선을 맞추는 보조 동작을 추가하여 그 효과 여부를 검증했다[12]. 피실험자들은 로봇이 물건을 전해주는 과정에서 시선 동작을 보조적으로 수행했을 때 로봇이 물건을 건네주려 한다는 의도를 보다 명료하게 이해했다.

〈그림 3〉은 기존의 경로 최적화 방법에 의한 물건 전달 과정이다. 로봇 팔의 움직임에 관찰해 보면 좌측 사진에 보이는 최초 로봇 팔의 위치로부터 앉아 있는 사용자의 정면 위치까지 이어지는 최단 경로를 따르고 있음을 알 수 있다. 〈그림 4〉는 행위가독성을 고려한 물건 전달 시뮬레이션 결과이다. 로봇은 물건 전달 의도를 표현하기 위해 물건과 사람을 순서대로 바라보고 동시에 물건의 전달 경로가 사람에게 근접하지 않으면서 사람이 물건을 잘 주시할 수 있는 경로를 따라 로봇 팔을 제어하고 있음을 발견할 수 있다.

최단 경로는 물건 건네주기 과업의 효율성을 극대화할 수 있는 방안이지만 사람에게 위협이 될 수 있을 뿐 아니라 사람이 물건 건네 받기를 주저하는 상황이 발생하기도 하였다. 행위가독성을 고려한 경우는 조작 경로의 길이와 조작 시간이 증가한다는 문제가 있으나 사람이 로봇의 의도를 더 빠르고 명확하게 해석할 수 있어 심리적으로 편안하고 물건을 건네 받는 노력이 덜 드는 상호작용이 가능하여 협업의 측면에서 효율이 오히려 증가하는 효과가 나타났다고 한다.

조작 작업 중간에 의도적으로 짧은 시간 지연을 추가하거나, 행위 수행 전에 의도를 미리 표현하는 동작을 수행하는 등의 방법을 통해 행위가독성을 향상한 사례들도 보고되었다[15][18].

IV. 행위가독성 측정 방법

가독성이 높은 행위를 생성하는 방법을 개발한 후에는 가독성이 실제 향상되었는지 검증해야 한다. 설문 조사를 통한 주관적이고 질적인 평가 방식이 가장 널리 활용되나 최근에는 과업 완료율, 작업 효율 등을 평가하여 정량적으로 행위가독성을 측정하는 객관적 평가 방식도 많이 활용되고 있다. 이 장에서는 행

위기가독성의 객관적 측정 방법을 대표 사례를 통해 살펴본다.

Bortot은 실험을 통해 로봇 팔의 이동 궤적이 예측 불가능한 경우 로봇과 함께 작업하는 사람의 작업 효율이 저하됨을 보였다[19]. <그림 5>는 실험에 적용한 다섯 종류의 로봇 팔의 이동 궤적이다. 다른 궤적들과 달리 Variable 조건하에서 로봇 팔은 다양한 궤적을 그리며 이동하도록 설정된다. Variable 조건은 행위가독성이 낮은 조건이고, 나머지는 상대적으로 가독성이 높은 조건이다. 서로 다른 행위가독성의 효과를 측정하기 위해 이 연구에서는 주어진 과업의 완료율을 측정하였다.

실험 결과 가장 높은 성적을 기록한 PTP 조건에 비해 Variable 조건은 20% 수준의 결과를 보였다. 이를 토대로 로봇과 협업하는 환경에서 과업 완료율과 로봇의 행위가독성은 상호 비례 관계라고 유추할 수 있다. 즉, 과업 완료율을 측정함으로써 간접적으로 행위가독성을 평가할 수 있다.

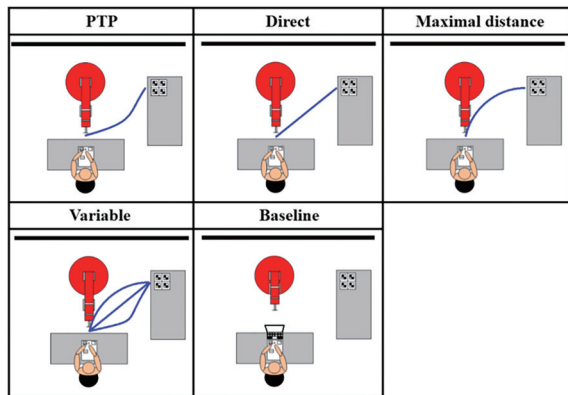


그림 5. 로봇 팔의 다섯 가지 이동 궤적 [10]

Dehais는 설문 조사와 생체신호 측정을 기반으로 행위가독성 측정을 시도하였다[20]. 평가 대상이 된 기술은 LAAS-CNRS에서 개발한 조작 기술이다[12]. 평가 실험에서 로봇은 사람에게 물건을 건네주는 작업을 수행하였고 피실험자는 직접 로봇이 건네주는 물건을 받는 과업을 수행하였다.

물건 전달 행위는 세 가지 서로 다른 조건으로 실행되었다. 1번 조건은 행위가독성을 높이는 궤적 생성 기법과 사용자의 물건 파지 여부 검출 기능을 모두 사용하고 로봇 팔을 중간 속도로 움직이는 조건이고, 2번 조건은 행위가독성을 높이는 궤적 생성 기법과 사용자의 물건 파지 여부 검출 기능을 모두 사용하지 않고 로봇 팔은 빠른 속도로 움직이는 조건이며, 3번 조건은 행위가독성을 높이는 궤적 생성 기법을 사용하고 로봇 팔을 느린 속도로 움직이되 사용자의 물건 파지 여부 검출 기능은 사용하지 않는 조건이다. 물건 파지 여부 검출 기능은 로봇이 쥐고 있는 물건을 사람이 잡았는지 여부를 검출하는 기능이다. 이 기

능을 활용하면 사람이 물건을 건네 받기 위해 물건을 잡는 시점에 로봇이 물건을 놓을 수 있으므로 보다 자연스러운 물건 전달이 가능하다.

각 조건 하에서 실험을 마친 후 피실험자는 설문을 통해 로봇의 행위가독성, 안전성, 편의성을 평가하였다. 또한, 실험 중 피실험자의 시선 추적(Eye Tracking), 팔 근전도 (Electromyogram), 피부전기반응 (Galvanic Skin Response) 측정 결과를 기록하여 객관적 평가에 활용하였다.

설문 결과 피실험자들은 공통적으로 1번 조건의 로봇 행위 가독성, 안전성, 편의성 측면에서 가장 우수하다는 평가를 내렸다.

시선 추적 결과 1번 조건 하에서 로봇 팔의 움직임에 시선이 고정되는 시간이 가장 짧았다. 로봇의 움직임과 의도를 더 빨리 이해했다는 사실을 암시하는 결과로서 1번 조건 하에서 로봇 행위 가독성이 상대적으로 높았다고 해석할 수 있다. 팔 근전도 신호의 경우 1번 조건 하에서 가장 적은 근육 운동이 감지되었는데 이는 사람이 보다 편하게 로봇이 전달하는 물건을 전달받았다는 사실을 암시한다. 피부전기반응 수치는 2번 조건에서 가장 높게 나타났다. 2번 조건의 로봇 동작은 기계적으로 최단 거리 경로를 따라 빠른 속도로 물건을 사용자에게 전달하는데, 이는 작업을 가장 빠르게 수행하는 방식일 수는 있으나 사람이 가장 크게 긴장하게 되는 방식이기도 하다는 사실을 증명한다. LAAS-CNRS의 조작 기술이 행위가독성, 안전성, 편의성을 실질적으로 개선한다는 사실을 주관적 평가뿐만 아니라 객관적 데이터를 통해서도 검증한 셈이다.

피실험자가 로봇의 행위를 관찰하여 로봇의 의도를 예측하고 정확도를 측정하여 행위가독성을 측정하는 방법도 시도되었다[21]. Dragan은 두 가지 서로 다른 이동 궤적을 따라 목표 좌표로 팔을 뻗는 로봇 팔의 움직임을 영상으로 피실험자에게 보여 주고 로봇 팔의 목적 좌표를 알아낸 시점에 비디오를 멈추고 목적 좌표를 기록하도록 하였다. 로봇의 행위 의도를 해석하는데

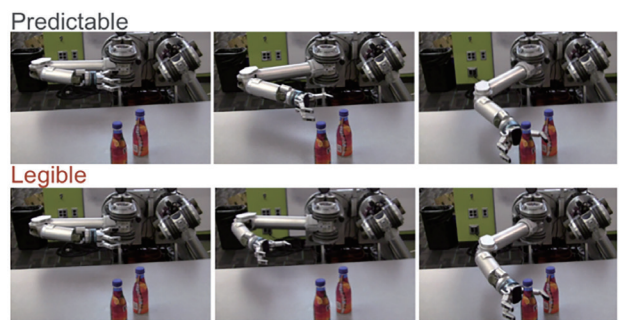


그림 6. 피실험자에게 제시된 동작 영상 [21]

걸린 시간과 정확도를 동시에 검증하려는 목적이다. <그림 6>은 피실험자에게 제시된 두 개의 서로 다른 동작 패턴 영상이다. 그림에 표시된 대로 상단과 하단 동작 중 하단의 동작이 더 가독성이 높다. 실험 결과 피실험자들은 가독성이 높은 동작을 봤을 때 더 빠르고 정확하게 로봇 팔의 이동 목적지를 맞췄다. 행위가독성이 높을 수록 사람이 로봇의 의도를 더 빨리 예측할 수 있음을 직접적으로 증명한 것이다.

V. 결론

향후 많은 로봇들이 사람의 활동 영역 안에서 운영될 전망이다. 사람과 로봇이 공존하는 환경 안에서 로봇은 사람의 안전과 편안함을 보장할 뿐 아니라 사람과 효과적으로 협력할 수 있는 능력과 특성을 갖춰야 한다.

로봇이 사람의 활동 영역 안에서 활용되려면 사람들이 기꺼이 로봇을 수용할 준비가 되어 있어야 하는데, 로봇에 대한 수용성을 결정하는 핵심 요인 중 하나로 로봇의 행위가독성(Legibility)을 꼽을 수 있다. 행위가독성은 사람이 로봇의 행위를 관찰했을 때 빠르고 명료하게 로봇의 행위 의도를 판단할 수 있어야 한다는 특성이다. 로봇의 행위가독성이 높을수록 사람은 로봇과 함께 활동하는데 부담을 덜 느끼고 더 효율적으로 협력할 수 있다.

로봇의 행위가독성을 높이기 위한 다양한 방법론이 제안되고 있다. 로봇 행위를 최적화할 때 물리적 환경 요소 뿐만 아니라 사람의 안전과 심리 상태를 결정하는 여러 요소들을 추가로 고려하는 모델링 기법이 주행과 제어 기술에 적용되어 긍정적인 효과를 얻었다. 사람의 행위 데이터를 수집하여 로봇이 학습하도록 하는 방법론도 시도되고 있다. 로봇이 사람의 행위 방식을 그대로 따라한다면 사람이 로봇 동작의 의미를 파악하기 쉬울 것이라는 가정을 전제로 한 접근 방법이며, 실험적으로 타당성이 검증되고 있다.

행위가독성은 사람이 주변에 존재하는 로봇을 안전하고 편안한 존재로 받아들이기 위해 로봇이 갖춰야 할 가장 기본적인 특성으로서 앞으로 로봇의 모든 행위들과 관련하여 더욱 활발한 연구와 논의가 필요하다. 로봇 실용화와 로봇 산업 진흥을 이루기 위한 필수 요소인 셈이다.

Acknowledgement

이 원고는 산업통상자원부 산업융합원천기술개발사업의 지원으로 작성되었음. [과제번호: 10041659]

참고 문헌

- [1] Aibo's History. [Online] <http://www.sony-aibo.com/aibos-history/>
- [2] iRobot History. [Online]: <http://www.irobot.com/About-iRobot/Company-Information/History.aspx>
- [3] K. Dautenhahn, S. Woods, C. Kaouri, M. L. Walters, K. L. Koay, I. Werry, What is a Robot Companion-friend, Assistant or Butler, 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2005, pp. 1192-1197.
- [4] F. Eyssel, D. Kuchenbrandt, S. Bobinger, Effects of anticipated human-robot interaction and predictability of robot behavior on perceptions of anthropomorphism, Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction, ACM, 2011, pp. 61-68.
- [5] C. L. Nehaniv, K. Dautenhahn, J. Kubacki, M. Haegele, C. Parlitz, R. Alami, A methodological approach relating the classification of gesture to identification of human intent in the context of human-robot interaction, ROMAN 2005. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2005. IEEE, 2005, pp. 371-377.
- [6] A. Clodic, V. Montreuil, R. Alami, R. Chatila, A decisional framework for autonomous robots interacting with humans, ROMAN 2005. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2005. IEEE, 2005, pp. 543-548.
- [7] E. A. Sisbot, L. F. Marin-Urias, R. Alami, T. Siméon, A human aware mobile robot motion planner, IEEE Transactions on Robotics, vol. 23, no. 5, pp. 874-883, 2007.
- [8] A. Kirsch, T. Kruse, E. A. Sisbot, R. Alami, M.

- Lawitzky, D. Brščić, S. Hirche, P. Basili, S. Glasauer, Plan-based control of joint human-robot activities, *KI-Künstliche Intelligenz*, vol. 24, no. 3, pp. 223-231, 2010.
- [9] E. A. Sisbot, L. F. Marin-Urias, X. Broquere, D. Sidobre, R. Alami, Synthesizing robot motions adapted to human presence, *International Journal of Social Robotics*, vol. 2, no. 3, pp. 329-343, 2010.
- [10] M. Beetz, F. Stulp, P. Esden-Tempski, A. Fedrizzi, U. Klank, I. Kresse, A. Maldonado, F. Ruiz, Generality and legibility in mobile manipulation, *Autonomous Robots*, vol. 28, no. 1, pp. 21-44, 2010.
- [11] J. Guzzi, A. Giusti, L. M. Gambardella, G. Theraulaz, G. A. Di Caro, Human-friendly robot navigation in dynamic environments, *Robotics Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on*, IEEE, 2013, pp. 423-430.
- [12] E. A. Sisbot, R. Alami, A human-aware manipulation planner, *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 28, no. 5, pp. 1045-1057, 2012.
- [13] T. Kruse, P. Basili, S. Glasauer, A. Kirsch, Legible robot navigation in the proximity of moving humans, *Advanced Robotics and Its Social Impacts (ARSO), 2012 IEEE Workshop on*, IEEE, 2012, pp. 83-88.
- [14] C. Lichtenthaler, T. Lorenz, M. Karg, A. Kirsch, Increasing perceived value between human robots - measuring legibility in human aware navigation, in *Advanced Robotics its Social Impacts (ARSO), 2012 IEEE Workshop on*, IEEE, 2012, pp. 89-94.
- [15] L. Takayama, D. Dooley, W. Ju, Expressing thought: improving robot readability with animation principles, *Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction*, ACM, 2011, pp. 69-76.
- [16] K. W. Strabala, M. K. Lee, A. D. Dragan, J. L. Forlizzi, S. Srinivasa, M. Cakmak, V. Micelli, Towards seamless human-robot handovers, *Journal of Human-Robot Interaction*, vol. 2, no. 1, pp. 112-132, 2013.
- [17] T. Kruse, A. Kirsch, E. A. Sisbot, R. Alami, Exploiting human cooperation in human-centered robot navigation, *19th International Symposium in Robot Human Interactive Communication*, IEEE, 2010, pp. 192-197.
- [18] H. Admoni, A. Dragan, S. S. Srinivasa, B. Scassellati, Deliberate delays during robot-to-human handovers improve compliance with gaze communication, *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, ACM, 2014, pp. 49-56.
- [19] D. Bortot, M. Born, K. Bengler, Directly or on detours? how should industrial robots approximate humans?, *2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, IEEE, 2013, pp. 89-90.
- [20] F. Dehais, E. A. Sisbot, R. Alami, M. Causse, Physiological subjective evaluation of a human-robot object hand-over task, *Applied ergonomics*, vol. 42, no. 6, pp. 785-791, 2011.
- [21] A.D. Dragan, K.C. Lee, S. S. Srinivasa, Legibility predictability of robot motion, *2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, IEEE, 2013, pp. 301-308.
- [22] C. Lichtenthaler, A. Kirsch, Legibility of Robot Behavior: A Literature Review, 2016.

약 력



장 민 수

1994년 서강대학교 공학석사
2015년 한국과학기술원 공학박사
1999년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
관심분야: 인간-로봇상호작용, 소셜 로봇, 인공지능



김 재 흥

1996년 경북대학교 공학석사
2006년 경북대학교 공학박사
2001년~현재 한국전자통신연구원 실장
관심분야: 인간-로봇상호작용, 소셜 로봇