시선추적을 활용한 사용자 집중도 감지 기반 협동 로봇

조영우[1], 김창영[1], 김경윤[2], 양형정[1*]
[1]전남대학교, [2]웨인 주립 대학교, *교신저자
217433@jnu.ac.kr, 216825@jnu.ac.kr, kykim@wayne.edu, *hjyang@jnu.ac.kr

A collaborative robot based on user concentration detection using gaze estimation

Young-Woo Jo[1], Chang-Yeong Kim[1], Kyoung-Yun Kim[2], Hyung-Jeong Yang[1*]
[1]Chonnam National Univ., [2]Wayne State Univ., *Corresponding author

요 약

4차 산업의 발달로 산업현장에서 생산의 유연성, 제품 생산 환경의 지속성, 품질 향상을 포함한 작업자의 안전을 목적으로 하는 기술을 도입하는 추세이다. 이로 인해 설치 공간의 제약과 유연성 부족 등으로 한정적인 공간과 품목들만 대상으로 사용이 가능한 기존의 산업용 로봇보다 협동로봇의 사용이 많아지고 있다. 협동로봇은 기존의 산업로봇과는 다르게 인간과 공존하는 환경에서 실시간으로 작업자의 행동 인지와 물체에 대한 인식이 가능하다는 점에서 산업의 표준/비표준화된 공정의 협동 작업이 가능하다. 이러한 공정의 협동 작업으로 인해 산업현장에서 협동로봇은 작업자의 능력에 따라 생산력에 큰 영향을 받으며 이를 극복하기 위한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 인간과 교감하는 협동로봇의 개념과 적용할 수 있는 기술을 분석하고자 한다.

Ⅰ. 서 론

인간과 함께 작업하는 것이 자율적이고 유연하며 안전한 로봇이 나오기 시작하면서 작업자들의 역할은 지능 및 협업하는 형식으로 바뀌고 있다. 이를 위해 협동로봇도 사회적인 기술을 가지고 있는 환경이 되고 있다. 하지만 여전히 인간-로봇 협업과 관련된 주요한 문제로는 작업할 때 존재하는 로봇 자체라고 볼 수 있다. 이는 로봇의 행동이 작업자의 의도와 다르게 되면 작업을 하는데 혼란이 발생할 수 있기 때문이다. 아울러 협동로봇은 인간과 아주 가까이에서 협력해야 하므로 인간의 사회적 규칙을 따를 수 있어야 하고 작업자의 실시간 상태에 따라 행동을 조절할 수 있어야 한다[1, 2].

이를 위해 인간의 상태를 이해하고자 시선추적을 사용하고자 한다. 시선추적 기술은 여러 분야에서 널리 사용 중이다. 예를 들어 건설 노동자들의 안전을 위한 시청 패턴 분석, 운전자의 집중력에 대한 정보 제공, 뉴로 마케팅에서의 고객 선호도 예측과 같은 것이다. 하지만 로봇분야에서는 인간의 시선과 같은 의사소통 신호를 감지할 수 없고 이를 실시간으로 기술을 구현하는 것이 어렵다는 문제점이 존재한다. 최근에는 이를 해결하기 위해 시선추적 기술을 얼굴 방향으로 대체하는 경우도 있다. [4]의 연구에 따르면 인간의 얼굴 방향을 통한 시선추적도 가능하나 눈의 방향을 인식하는 것이 더 많은 정보를 가지고 있다고 한다.

본 논문에서는 스마트 팩토리에서 인간-로봇 상호작용을 위해 작업자의 상태를 실시간으로 감지하는 연구를 분석하고자 하며 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 협동로봇 및 인간-로봇 상호작용에 대한 설명과 실시간으로 작업자의 상태를 파악하기 위한 시선추적 기술에 관해 설명한다. 3장 결론에서는 산업적 맥락에서 앞으로 이러한 기술을 통해 발전해 나갈 수 있는 방향을 제시해 보고자 한다.

Ⅱ. 협동로봇과 시선추적

● 협동로봇

기존의 산업 로봇 시스템은 많은 비용과 공간이 필요하고 유연성을 감소시키는 울타리를 통한 보호장치와 안전 장비가 필요하다. 하지만 공정 시간의 단축과 대량 맞춤화 생산을 요구하는 현재시장에서는 유연한 다목적 조립 시스템이 필요하다. 이러한 현재 시장에 맞게 협동로봇은 공유 작업 공간에서 작업자와 물리적 상호작용을 허용하고 다양한 제품에 맞게 용도를 변경할 수 있어야 한다. 이를 위해 쉽게 프로그래밍할 수 있게 설계되어 있고 티치 펜던트, 드래그 앤 드롭, 음성 명령, 동작 명령, VR/AR과 같은 다양한 프로그래밍 방법들을 통해 제조 및 조립 작업의 기존 문제를 해결할 수 있다.

사람과 협동로봇 간의 협업은 판단, 반응 및 계획 능력과 로봇의 반복성 및 강도를 결합하기 때문에 생산 비용을 절감하고 생산성을 높일 수 있는 방법이다[3]. 표 1에서는 공존, 동기화, 협력, 협업으로 협업 방식을 분류하였고 이를 그림으로 사람과 협동로봇의 관계로 표현하면 그림 1과 같다.

표 1. 작업자와 협동로봇의 협업 방식

공존(Coexistence)	작업자와 협동로봇이 같은 환경에 있지만 일반적으로 상호 작용하지 않는 경우
동기화(Synchronized)	작업자와 협동로봇이 동일한 작업 공간에서 작업하지만 다른 시간에 작업을 하는 경우
협력(Cooperation)	작업자와 협동로봇이 동일한 작업 공간에서 동시에 작업하지만 각각은 별도의 작업에 중점을 두는 경우
협업(Collaboration)	작업자와 협동로봇이 함께 양 방향적 작업을 진행하는 경우

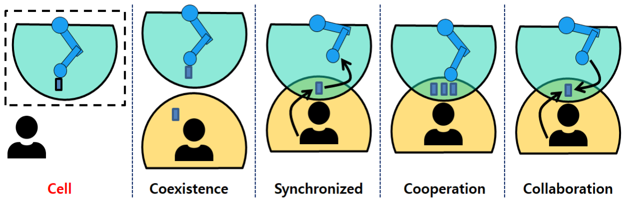

그림 1. 작업자와 협동로봇의 협업 방식

● 협동로봇 시선추적

로봇 공학에서 시선을 통한 인간과 로봇의 의사소통 중요성이 주목받고 있다. 이러한 의사소통 중 로봇의 눈을 사용하여 의사소통 할 수 있는 기술은 많이 적용되어왔지만, 로봇이 인간의 눈을 인식하여 의도를 예측할 수 있는 기술은 사용되지 않고 있다. 로봇에서 시선 추적 기능이 없는 가장 큰 이유는 작업자의 시선 방향을 계산하기 위해 특정 카메라 속성과 고해상도의 영상이 필요하지만, 로봇에 장착하는 카메라는 저해상도 카메

표 2. 시선추적을 적용한 연구

	시선추적 활용	사용 장비	협동로봇 접목	집중도 측정	평가지표
O. Palinko et al. [4]	작업자 시선 추적	iCub	O	X	시선추적 정확도 : 84.9%
A. A. Abdelrahman et al. [5]	실시간 참여 정도 측정	-	O	O	평균 각도 오차 : 15.3°
Faundez-Zanuy et al. [6]	협동로봇 원격 제어	Tobii Pro X2-30	O	X	검증 정확도 : 0.70°
Chang et al. [7]	집중력 훈련	Mangold Eye tracker	X	O	-

라로 제한되어 있기 때문이다. 작업자가 고해상도의 카메라가 장착된 안경 혹은 헬멧을 착용하는 경우도 있지만 이처럼 장비를 착용하는 경우 작업에 방해가 된다는 이유로 실제 현장에서 적용이 어렵다. 이러한 문제점을 해결하고자 별도의 착용 장비 없이 시선추적을 하여 실시간으로 작업자의 상태를 감지하는 연구들이 제안되었다[4, 5, 6, 7]. 위 연구들의 시선추적 활용 방안, 사용 장비, 협동로봇 접목 및 집중도 측정 여부, 평가지표를 표 2를 통해 비교 확인할 수 있다.

[4]에서는 로봇에서 작동하도록 설계된 calibration-free, visual light, monocular eye gaze tracking 알고리즘을 추가하여 시선추적의 성능 향상을 시도한다. [4]에서 제안한 알고리즘은 고해상도의 카메라 없이도 눈 움직임과 관련된 미묘한 신호를 실시간으로 포착한다. 시선추적을 위해 눈 영역을 추출한 후 눈동자의 중심을 찾고 눈의 위치, 동공의 중심 및 머리 방향을 찾게 되면 시선 각도를 계산하기 위해 찾은 포인트들을 eye model에 적용, iCub의 눈을 사용하여 자체 시선 데이터 세트를 조합하여 새로 얻은 시선 모델을 검증한다. 그림 2의 알고리즘을 통해 로봇은 작업자가 어떤 물체를 응시하는지 알 수 있다.

[5]에서는 일반화 기능을 가진 로봇과 상호작용하는 인간의 실시간 참여 정도를 측정하기 위한 시스템을 설계한다. 우선 딥러닝 방식을 사용하여 입력 프레임에서 참여 특성을 추출한다. 그 후 신경망을 사용하여 머리, 시선 방향을 포함한 시각적 데이터를 사용하여 참여 정도를 측정한다. 참여 정도는 얼굴이 정면이고 시선이 로봇을 향할 경우가 기본값이며 다른 방향으로 향할 경우 주의 점수를 증가시킨다.

[6]에서는 원격으로 협동로봇의 제어 수단으로서 시선추적 기술을 사용하며 시선 궤적을 예측하는 알고리즘을 통해 시선 제어 인터페이스의 사용성을 향상시키는 것을 목표로 한다. 알고리즘은 특정 영역을 응시할 때 발생하는 Fixation을 감지하는 알고리즘을 사용한다.

[7]에서는 시선추적을 통한 집중력을 산출하기 위해 집중도가 높을수록 사격 숙련도가 높다는 표적 사격의 개념을 통해 시선 정확도와 정밀도를 평가한다. 시선 정확도는 참가자의 시선이 과녁 안에 얼마나 머물고 있는지의 정도이며 시선 정밀도는 시선이 한곳에 얼마나 집중되어 있는지의 정도이다. 이를 통해 4가지 변수를 설정하고 과녁에 총 머무르는 시간(T_{c1}), 가장 오래 과녁에 머문 시간(T_{max_ci}), 과녁 중심과의 초점반경(R50), 최대 Saccade distance(maxDi)들의 백분위 수를 수식 1에 대입하여 집중도를 산출한다.

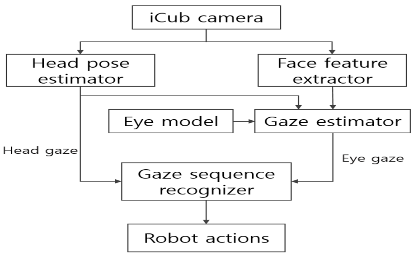

그림 2. 시선추적 알고리즘[4]

$$\begin{aligned} &concentration\ accuracy\ score = (T_{c1} + T_{\max_ci})/2 \\ &concentration\ precision\ score = (R50_rank + \max Di)/2 \end{aligned} \quad (1)$$

Ⅲ. 결 론

앞으로 협동로봇은 인간을 위해 지속 가능한 근무 조건과 환경을 유지하면서 생산성, 유연성 및 품질을 높여야 한다. 이를 위해 동일한 작업 영역 내에서 직접 협업 또는 작업 공유 측면에서 로봇을 인간과 더욱 가깝게 연결함으로써 로봇과 인간의 능력이 시너지를 낼 수 있어야 한다. 우리는 로봇과 인간의 상호작용을 통해서 효율을 높이기 위해 인체공학적 기술, 전문성 수준 및 안정성과 같은 작업자별 측면을 고려해야 한다. 작업자별 측면을 고려하기 위해서는 협동로봇과 협업 중 실시간으로 작업자의 상태를 파악하여 피드백해주어야 한다. 작업자의 상태를 파악할 수 있는 기술 중 시선추적 기술을 접목하여 실시간으로 협동로봇과 작업자가 협업 중 작업에 영향을 끼치지 않으며 상태를 파악한다. 그리고 집중도 측정을 위해 작업자의 현재 시선과 협동로봇의 작업 위치의 오차를 활용하여 작업자의 위험 상황 예측 및 작업 능률을 향상할 수 있는 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT). (NRF-2020R1A4A1019191)

참 고 문 헌

[1] Toichoa Eyam, Aitor, Wael M. Mohammed, and Jose L. Martinez Lastra. "Emotion-driven analysis and control of human-robot interactions in collaborative applications." Sensors 21.14 : 4626. 2021

[2] Paletta, Lucas, et al. "Gaze-based human factors measurements for the evaluation of intuitive human-robot collaboration in real-time." 2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). IEEE, 2019

[3] Matheson, Eloise, et al. "Human-robot collaboration in manufacturing applications: A review." Robotics 8.4 : 100, 2019

[4] O. Palinko, F. Rea, G. Sandini and A. Sciutti. "Robot reading human gaze: Why eye tracking is better than head tracking for human-robot collaboration," 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.5048-5054, 2016

[5] A. A. Abdelrahman, D. Strazdas, A. Khalifa, J. Hintz, T. Hempel and A. Al-Hamadi, "Multimodal Engagement Prediction in Multiperson Human-Robot Interaction," in IEEE Access, vol. 10, pp. 61980-61991, 2022

[6] Faundez-Zanuy, Marcos & Moral-Vinals, Aleix & Lopez-Xarb며, Josep, "Use of eye-tracking to control a cobot movement : Results coming from the application of Tobii Pro X2-30 to an Omron TM5-700 robot". Safety and Security Engineering IX 206: 241. 2022

[7] Chang, Kang-Ming, and Miao-Tien Wu Chueh. "Using eye tracking to assess gaze concentration in meditation." Sensors 19.7: 1612, 2019