JKSCI

한국컴퓨터정보학회논문지
Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 30 No. 6, pp. 131-138, June 2025
https://doi.org/10.9708/jksci.2025.30.06.131

Implementation of a Work Accuracy Compensation System for a Mobile Collaborative Robot Using Ultrasonic Sensors

Jong-Joo Kim*, Seung-min Oh**, Seong-Hyun Park***

*Ph.D Student, Dept. of Computer Engineering, Kongju National University, Chungnam, Korea
**Professor, Dept. of Computer Engineering, Kongju National University, Chungnam, Korea
***Lecturer, Dept. of Computer Engineering, Kongju National University, Chungnam, Korea

[Abstract]

In manufacturing environments equipped with automated systems, the adoption of collaborative robots and automated guided vehicles (AGVs) is increasing to enhance production efficiency and reduce costs. In particular, mobile work systems, where a collaborative robot is mounted on an AGV, are gaining attention. However, position errors occurring during the driving and stopping phases of the AGV reduce the work accuracy of the collaborative robot. To compensate for these position errors, vision cameras and other types of sensors are commonly used. However, these systems are often sensitive to environmental factors such as lighting conditions and require significant initial installation costs, making them difficult to adopt in small- and medium-sized manufacturing facilities.

To address this issue, this study proposes a system that compensates for positional deviations using low-cost ultrasonic sensors installed on the AGV. By analyzing the distance and angle errors derived from the sensor measurements, the system communicates with the robot controller to apply correction values, thereby reducing positional deviations during operation. The proposed model simplifies the error compensation process, reduces initial investment costs, and is expected to improve the practicality and applicability of mobile collaborative robot systems utilizing AGVs.

▸ **Key words**: ROBOT, AGV, AMR, Ultrasonics, SmartFactory

• First Author: Jong-Joo Kim, Corresponding Author : Seung-min Oh
*Jong-Joo Kim (kjjzzang21c@naver.com), Dept. of Computer Engineering, Kongju National University
**Seung-min Oh (smoh@kongju.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Kongju National University
***Seong-Hyun Park (a94270816@gmail.com), Dept. of Computer Engineering, Kongju National University
• Received: 2025. 04. 03, Revised: 2025. 04. 16, Accepted: 2025. 06. 17.
• This paper is an extension of the paper ("Implementation of a Work Accuracy Compensation System for a Mobile Collaborative Robot Using Ultrasonic Sensors") presented at the 70th Summer Conference of the Korea Computer Information Society in 2024

Copyright © 2025 The Korea Society of Computer and Information
http://www.ksci.re.kr pISSN:1598-849X | eISSN:2383-9945
www.kci.go.kr

[요 약]

자동화 설비를 갖춘 제조 현장에서는 생산 효율성 증대와 비용 절감을 위해 협동 로봇과 무인 운반차의 도입이 증가하고 있다. 특히 무인 운반차 위에 협동 로봇을 탑재한 이동형 작업 시스템이 주목을 받고 있으나, 무인 운반차의 주행 및 정지 과정에서 발생하는 위치 오차로 인해 협동 로봇의 작업 정확도가 저하되는 문제가 발생한다. 이러한 위치 오차를 보정하기 위해 비전 카메라 등 다양한 센서가 활용되고 있으나, 조명 조건 등 환경에 민감하고 초기 설치에 많은 비용이 소모되기 때문에 소규모 제조 업체에서 도입하기 어려움이 존재한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 무인 운반차에 저가의 초음파 센서를 설치하여 정지 위치에 대한 오차를 측정하고, 협동 로봇의 자세를 보정하는 시스템을 제안한다. 측정 값을 기반으로 발생된 각도와 거리 오차를 분석하고, 로봇 컨트롤러와 데이터 송수신을 통해 협동 로봇이 작업 위치를 보정하면서 작업 시 발생하는 위치 편차를 줄였다. 제안 모델은 오차를 보정하기 위한 시스템을 단순화하여 초기 투자 비용을 감소시키고, 무인 운반차를 활용한 이동형 협동 로봇 시스템의 실용성을 향상하는데 기여할 것으로 기대된다.

▸ **주제어**: ROBOT, AGV, AMR, Ultrasonics, SmartFactory

I. Introduction

자동화 설비를 갖춘 제조 현장에서는 제품 생산의 원가를 절감하고 생산 효율을 증대시키기 위해 제조 현장에 다양한 기술을 적용하고 있다. 4차 산업혁명 시대에 접어들면서 스마트 공장과 같은 디지털화 기술이 도입되었고, 설비의 생산 공정이 더욱 세분화되었으며, 다양한 고객의 요구와 시장 변화 및 트렌드에 유연하게 대응할 수 있는 생산 능력이 중요한 요소가 되었다. 이에 따라, 제품의 운반이나 조립과 같은 단순 반복적인 작업을 대체하고, 유연한 사고를 가진 인간과 협력하며 안전하게 작업할 수 있는 협동 로봇과 무인 운반차의 도입이 증가하고 있다.[1] 협동 로봇은 사람의 팔과 같이 다양한 자세를 자유롭게 움직일 수 있어서, 제품을 공급하거나 분류하는 작업에 주로 사용되며, 로봇의 팔이 정지되는 위치의 정확도는 생산 불량률에 직접적인 영향을 미친다. 공정이 진행되는 과정에서 공급되는 재료가 위치를 벗어나거나 불균형하게 배치되면 조립 과정 등의 공정에서 제품의 결함을 초래할 수 있다.[2] 특히, 협동 로봇의 효율성을 높이기 위해 무인 운반차 위에 고정하여 사용되는 시스템에서는 협동 로봇의 작업 위치에 직접적인 영향을 끼치게 된다. 이러한 이유로 무인 운반차의 정지에 따른 오차를 보정하기 위해 비전 카메라를 통한 시스템 구현 등 다양한 방법이 도입되고 있으나, 이러한 방식을 활용하여 시스템을 구성하기 위해서는 전문적인 기술 인력이 필요하며, 유지보수에 어려움을 가지고 있다.[3] 특히, 초기 설비에 대한 투자 비용이 많이 발생하기 때문에 중소기업과 같은 소규모 사업장에 적용하는 데 한계가 존재한다.

본 논문에서는 초음파 센서를 무인 운반차에 설치하고, 측정된 거리 데이터를 PC의 위치 보정 프로그램에 전송한다. 위치 보정 프로그램은 수신한 데이터를 분석하여 발생한 위치 오차를 파악하고, 이를 기반으로 로봇 컨트롤러로부터 수신한 위치 데이터를 보정 후 로봇 프로그램에 적용시키는 모델을 제안한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 협동 로봇과 무인 운반차에 대한 위치 보정 시스템을 구성하고 이를 적용하기 위한 방법에 대해 논의한다. 3장에서는 협동 로봇과 무인 운반차의 위치를 보정하기 위한 시스템 구성을 제안한다. 4장에서는 제안된 모델을 기반으로 구성된 시스템의 위치 보정 성능을 분석한다. 마지막으로, 5장에서 제안된 시스템의 위치 보정 성능 분석 결과를 기반으로 결론을 도출한다.

II. Preliminaries

2.1 Cobot

전통적인 산업용 로봇은 작업자의 안전을 확보하기 위해 작업 구역을 펜스로 구분하여 격리하는 방식으로 운영되며, 이로 인해 인간과 작업 공간이 단절되고, 다양한 상황에 따른 유연한 생산 환경을 조성하는데 제한이 발생한

www.kci.go.kr

다.[4] 이에 비해, 협동 로봇은 충돌 감지 센서와 안전 제어 알고리즘을 내장하여 가벼운 충돌이 발생되면, 즉시 정지하여 안전을 확보할 수 있다. 이로 인해, 작업자가 로봇과 같은 공간에서 안전하게 협력하며 작업을 수행할 수 있다. 협동 로봇을 통해 반복적인 작업을 자동으로 수행하는 동시에, 작업이 복잡하거나 판단이 필요한 상황은 인간이 담당할 수 있어 유연한 공정 운영이 가능해지며, 이를 통해 생산성 역시 높일 수 있다.[5]

2.2 AGV

무인 운반차(AGV: Automated Guided Vehicle)는 물류 및 제품을 자동으로 운송하는 역할을 수행하는 장치로서, 인간의 개입 없이 지정된 경로를 따라 정확하게 이동하도록 설계된 장치이다.[6] AGV는 미지의 환경에서도 자율 주행을 수행하며, 다양한 센서를 활용해 주변 환경에 대한 정보를 수집한다. 이를 기반으로 자기 위치 및 주변 환경 정보를 정확히 분석하기 위해 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기술을 적용한다[7].

Table 1. AGV Low-Cost Sensor

Sensor Type	Camera	Ultrasonic
Principle	Analysis of images collected by the image sensor	Distance and object recognition through reflected sound waves
Advantages	Can recognize color, pattern, etc	Low environmental impact such as lighting and dust
Weakness	Sensitive to lighting, False Detection Occurred on Reflective Plane	Low resolution, Signal loss based on reflector characteristics

Table. 1. 은 저가의 비용으로 구성할 수 있는 센서의 비교 표이다. 카메라는 영상처리 기법을 적용하여 복잡한 작업 환경에서도 장애물을 회피하며 유연하게 이동할 수도 있으나, 실내의 조명 조건에 따라 성능이 변화할 수 있다. 반면, 초음파 센서는 해상도가 낮으며 온습도에 영향을 받지만, 실내 환경에서 안정적으로 벽, 장애물 등을 감지에 유리하다. 이와 같이 센서에 따른 검출 특성을 분석하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다.[8] 최근에는 딥러닝 기반의 객체 인식과 같은 인공지능 기술을 적용하여 다양한 환경에서 물체와 공간을 인지하고 가장 효율적인 경로를 계획 및 주행하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.[9]

2.3 System Configuration of Cobot

협동 로봇은 특정 위치에 고정하여 사용할 경우, 진동이나 흔들림 등 외부 요인의 영향을 받지 않기 때문에, 단일 반복 작업을 빠르고 정확하게 수행할 수 있어 대량 생산에 적합하다. 그러나 다품종 소량 생산이 이루어지는 작업 환경에서는 각 작업 위치마다 협동 로봇을 설치해야 하며, 제품이 지속적으로 공급되지 않을 경우 로봇에 유휴 시간이 발생할 수 있다.[10] 이에 반해, 협동 로봇을 무인 운반차 위에 고정하여 설치하는 방식은 한 대의 로봇으로 여러 지점에서 다양한 작업을 유연하게 수행할 수 있으므로, 공간 활용도와 작업 효율성을 향상시킬 수 있다.[11] 다만, 무인 운반차가 목표 위치에 도달해 정지하는 과정에서 위치 오차가 발생할 경우, 이는 로봇의 작업 정확도에 직접적인 영향을 미칠 수 있다.[12] 이러한 문제를 개선하기 위해 무인 운반차의 주행 안정성과 위치 정확도를 높이기 위한 위치 보정 및 제어 알고리즘, 경로 최적화 등의 다양한 연구가 진행되고 있다.[13]

2.4 Ultrasonic Sensor

초음파 센서는 주로 물체와의 거리를 측정하거나 물체를 인식하기 위한 핵심 장치로, 다양한 산업 환경에서 폭넓게 활용되고 있다. 초음파 센서는 구조가 간단하고 내구성이 뛰어나며, 설치와 운용이 간편하고 유지보수도 비교적 용이하다. 또한, 다른 정밀 센서에 비해 가격 대비 성능이 우수하다는 장점을 갖고 있다[14]. 이러한 특성 덕분에 초음파 센서는 자동차, 제조업, 로봇 등 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있다.

초음파센서는 음파를 이용해 물체와의 거리를 계산하는 방식으로, 비접촉식 거리 측정이 가능하여 환경적 제약이 적은 것이 특징이지만. 다중 반사의 영향을 받는 반사파나 노이즈 신호에 따라 실제 거리값에 대한 오차가 존재한다[15]. 이를 개선하기 위해 필터링 방법 및 데이터 값을 저장하고 예측하는 알고리즘의 적용이 필요하다.

III. The Proposed Scheme

3.1 Robot System Configuration

다음의 Fig. 1. 은 산업 현장에서 사용되고 있는 무인 운반차와 협동 로봇 기반의 물류 이송 시스템에서 제품을 이송할 때 발생 되는 위치 오차를 초음파 센서를 통해 보정하고, 작업의 정확도를 향상하기 위한 시스템 구성도를

www.kci.go.kr

나타낸 것이다.

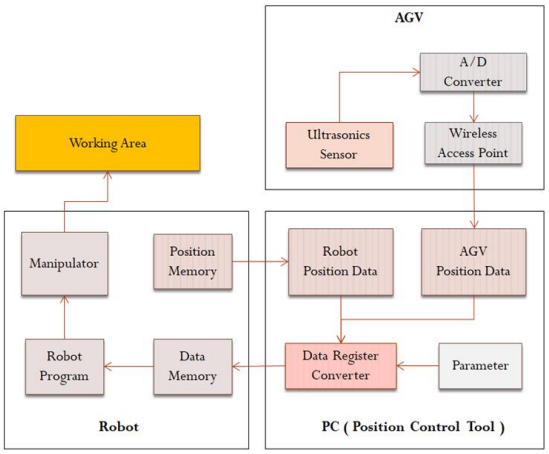


Fig. 1. System Configuration Diagram

첫 번째, 무인 운반차(Automated Guided Vehicle : AGV)는 무인으로 이동하는 이송장치로, 정해진 경로에 맞추어 제품을 적재하고 주행하는 프로그램 및 기능을 내장하고 있다. 무인 운반차의 정지 위치 측정을 위한 초음파 센서와 제품을 이송하기 위한 협동 로봇이 무인 운반차의 프레임에 고정된다. 먼저, 초음파 센서는 정지 위치에 미리 설치되어 있는 센서 측정 가이드를 통해 거리를 검출할 수 있도록 측면에 일정 간격을 두고, 2개소의 위치에 설치한다. 초음파 센서는 무인 운반차의 검출 면에서 발사된 초음파가 측정 가이드에 반사되어 돌아오는데 걸리는 시간을 측정하고, 측정된 값을 환산하여 0~10V의 전압으로 출력한다. A/D 변환 모듈은 아날로그로 입력된 신호를 디지털 신호로 변환하고, 변환된 값을 송신 및 수신하는 기능을 내장한 장치이다. A/D 변환 모듈은 초음파 센서로부터 입력된 측정값을 변환하고, 무선 AP를 통해 디지털 값으로 데이터를 송신 및 수신하는 장치이다.

두 번째, PC에 설치되는 위치 제어 툴은 무인 운반차와 협동 로봇의 위치 데이터의 송수신이 가능하도록 통신 프로토콜이 구성되며, 수신된 데이터를 분석하고 연산하는 기능을 제공한다. AGV 위치 데이터는 기준 위치값을 저장하는 영역과 현재 위치값을 저장하는 영역으로 이루어진다. 기준 위치값은 무인 운반차의 정상 위치를 설정할 때, 1회 저장하는 기준값이다. 현재 위치값은 무인 운반차에 설치된 초음파 센서로부터 측정된 위치의 값을 수신하는 영역으로 수신받은 초음파 센서의 측정값을 저장한다. 파라미터는 오차 계산을 위해 필요한 필수 항목으로 두 개의 센서 간의 거리와 로봇 중심에서부터 센서 측정 면까지의 길이를 설정한다. 데이터 레지스터 컨버터는 설정된 파라미터를 기반으로 수신된 2개의 데이터 값과 기준 위치 값을 연산하여, 거리 오차(d)와 각도(θ)를 분석한다. 로봇 위치 데이터는 협동 로봇으로부터 미리 저장되어 있는 기준값을 요청하고, 수신받는 영역이다. 데이터 레지스터 컨버터는 로봇의 위치 데이터와 무인 운반차로부터 발생된 위치 편차를 연산하고, 결괏값을 협동 로봇에게 송신한다.

세 번째, 협동 로봇은 매니퓰레이터와 로봇 컨트롤러로 구성되며, 로봇이 움직이는 위치에 따른 자세를 미리 티칭하여 위치 데이터를 생성하고, 동작 시퀀스에 맞추어 로봇이 이동하는 프로그램을 내장하고 있다. 위치 메모리는 로봇의 이동 포인트에 대한 값을 저장하고 있으며, PC의 위치 제어 툴의 요청에 따라 데이터를 송신하게 된다. 데이터 메모리는 PC로부터 수신받은 로봇의 보정된 위치값을 저장하는 공간이다. 로봇 프로그램은 데이터 메모리에 저장되어 있는 위치값을 기반으로 매니퓰레이터를 조작하는 역할을 수행한다.

3.2 Control System Process

다음의 Fig. 2. 는 초음파 센서를 기반으로 무인 운반차의 정지 오차를 측정하여 분석하고, 협동 로봇 간에 발생되는 위치 오차를 보정하기 위한 과정의 동작 프로세스를 나타낸 것이다.

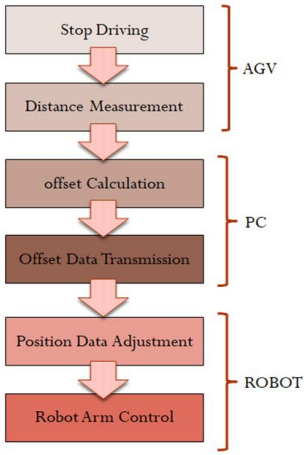


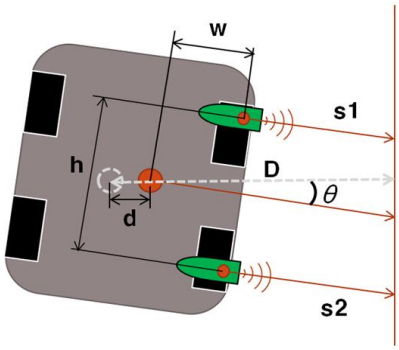
Fig. 2. System Process

먼저, 협동 로봇을 장착한 무인 운반차가 자율 주행 후 목적지에 도착하여 주행을 종료하게 되면, 정지 위치에 대한 오차를 검출하기 위한 정보를 수집한다. 이때, 일정 간격으로 떨어져 있는 두 개의 초음파 센서를 기준으로 검출 면과의 거리를 각각 측정하고, WIFI AP를 통해 PC로 전송한다. PC의 위치 제어 툴은 전송받은 두 개의 거리 측정

값과 설정된 파라미터를 적용하여, 로봇 중심에서 검출 면까지의 거리와 각도를 계산한다. 초기 로봇의 위치 데이터를 설정할 때, 지정된 각도, 거리 값이 설정된 메모리 영역과 현재 계산된 값의 메모리 영역을 분석하여, 거리와 각도에 대한 편차를 계산하고 협동 로봇으로 송신한다. 협동 로봇은 수신된 거리와 각도의 편차 값을 기반으로 로봇 프로그램의 위치 데이터 변수에 편차값을 적용하여 로봇 암을 제어하게 된다.

3.3 AGV Distance Measurement

다음의 Fig. 3. 은 무인 운반차가 지정된 경로를 주행하고 정지하였을 때, 초음파 센서를 통해 발생하는 위치의 편차를 분석하기 위한 방법을 나타낸 것이다.



s1, s2 : 초음파센서 검출 거리
h : 초음파 센서 간격
w : 중심에서 센서 검출 면까지 거리
D : 기준 길이
Θ : 각도 편차
d : 길이 편차

Fig. 3. AGV Distance Measurement

$$\theta = \arccos\left(\frac{h}{\sqrt{(a-b)^2+h^2}}\right) \quad (1)$$

$$d = D - \left(\left(\frac{s1+s2}{2}\right)+w\right)\cdot\cos\theta \quad (2)$$

무인 운반차의 정지 위치에 대한 오차는 가로축과 세로축 그리고 각도(Θ)로 3개의 좌표로 볼 수 있다. 세로축의 위치는 별도의 하드웨어 기구 또는 보정 시스템을 구현하기 때문에 측정에서 제외한다. 먼저, 2개의 초음파 센서의 간격(h)과 협동 로봇의 중심에서 측정 면까지의 거리(w)는 무인 운반차를 설계하는 과정에서 정해진다. 무인 운반차의 각도(θ)는 식(1)을 통해 역삼각함수인 아크-코사인을 통해 구할 수 있다. 각도(θ)의 값이 산출되면 식(2)에 대입하여, 정상 상태의 기준 길이(D)와 로봇의 중심부터 검출 면과 수직을 이루는 길이 차이를 통해 길이 오차를 구할 수 있다.

IV. System Evaluation

제안 모델의 성능을 검증하기 위해 Fig. 4. 와 같이 협동 로봇의 모델을 선정하고, 정해진 경로를 주행하며 물류를 이송할 수 있는 소형 무인 운반차 위에 협동 로봇을 고정하여 시스템을 구현하였다. 무인 운반차는 상용 제품의 경우, 내부 소스 코드를 수정할 수 없으므로 아두이노를 통해 2개소의 초음파 센서를 부착하여 거리 측정이 가능하도록 구성하였으며, PC를 통해 협동 로봇과 데이터를 주고받을 수 있도록 준비하였다. 협동 로봇은 제조사의 기술 사양에 따르면 반복 정밀도가 ±0.03mm이다.

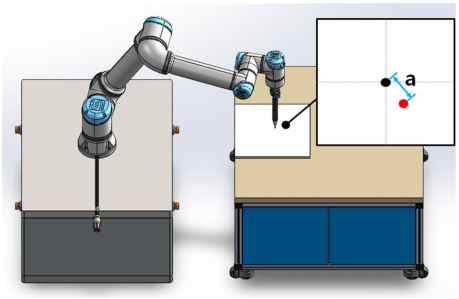


Fig. 4. Proposed model experiment

제안 모델의 성능 검사를 위해 무인 운반차를 검출 면과 수평으로 배치하고, 협동 로봇의 위치를 티칭 하여 기준점을 마킹하였다. 이후, 무인 운반차의 주행과 정지를 반복하면서 협동 로봇을 통해 마킹 실시하고, 기준점과 마킹점의 거리 차이(a)를 측정하였다.

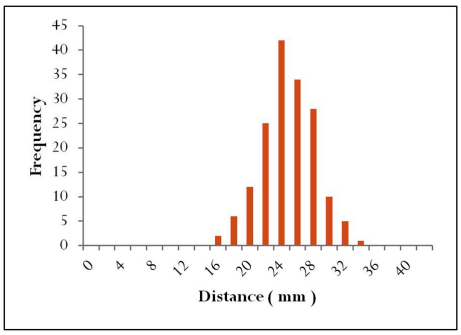


Fig. 5. Histogram(Before Correction)

다음 Fig. 5. 은 200회 동안 반복 수행을 통해 발생한 거리 차이를 측정하고, 이를 기반으로 오차 범위를 정리한 히스토그램을 나타낸 것이다. 측정 결과, 24mm~30mm

www.kci.go.kr

구간에서 가장 높은 빈도수를 기록하였으며, 반면 20mm 이하 및 34mm 이상 구간에서 빈도수가 현저히 낮아지는 경향을 보였다. 결과적으로, 무인 운반차가 주행 후 정지하는 과정에서 특정 범위 내에 정지하지만, 협동 로봇의 위치 제어에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

다음의 Table. 2. 은 무인 운반차의 정지 위치에 대한 각도와 거리에 대한 오차 값을 보정 하기 위해 제안 모델의 수식을 적용하여 2개의 초음파 센서의 거리 측정값을 기준으로 각도와 거리를 산출하고, 보정량을 계산한 것이다.

Table 2. AGV offset measurement

Count	s1	s2	offset	
			Angle	Distance
1	220.9	233.9	1.71	4.72
2	221.3	235.5	1.87	6.09
3	219.3	234.9	2.05	4.73
4	220.6	235.3	1.93	5.62
....	....	....	....	....
200	220	235.4	2.03	5.34

센서 s1보다 s2의 측정값이 더 큰 특징을 보였으며, 계산을 통해 무인 운반차의 정지 위치가 평균적으로 각도는 약 2도, 거리는 약 5mm 정도의 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

다음의 Fig. 6. 은 무인 운반차가 주행 후 정지하는 과정에서 발생한 오차에 따른 각도와 거리 보정량을 협동 로봇에 적용하여 실험한 결괏값에 대한 히스토그램을 나타낸 것이다.

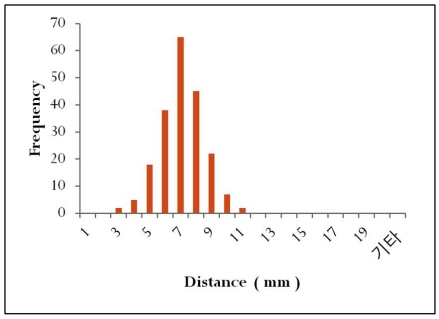


Fig. 6. Histogram(After Correction)

오차를 보정하기 전의 실험과 동일하게 200회를 실시한 결과, 오차가 보정된 후의 히스토그램은 그래프의 모양이 대칭적인 형태를 보였으며, 무인 운반차가 주행 후 정지하였을 때 발생한 거리 오차(a)는 7mm에 가깝게 이동하였다. 이는 무인 운반차의 정지에 대한 위치 편차를 기반으로 협동 로봇의 위치를 보정하여 위치 편차가 줄어든 것을 의미한다.

성능 검증 결과, 고가의 센서 및 비전 카메라 등을 사용하는 시스템과 달리 제안 시스템은 초음파 센서의 특성상 오차가 여전히 발생하였다. 반면, 시스템을 도입하기 전과 후의 오차 값은 많은 차이를 보이며, 협동 로봇의 작업 위치가 상대적으로 안정화된 것을 확인할 수 있었다.

V. Conclusions

급격하게 변화하는 시장 환경과 고객들의 다양한 요구사항에 유연하게 대응하기 위해 제조 현장에서는 스마트 팩토리, 디지털 트윈 등 기술이 빠르게 도입되고 있다. 특히, 사람과 안전하게 협업할 수 있는 협동 로봇과 물류를 이송하는 무인 운반차가 공정의 효율성과 생산성을 향상시키는 핵심 장비로 자리 잡고 있으며, 기존의 고정형 로봇과 달리 무인 운반차 위에 협동 로봇을 고정하여 이동형 작업 시스템을 구축하는 방식이 주목을 받고 있다. 그러나, 무인 운반차가 주행 후 정지하는 과정에서 위치에 대한 오차가 발생하고 있으며, 이에 따라 협동 로봇의 작업 위치가 틀어지는 문제가 발생한다. 특히, 주행 경로와 외부 환경 변화에 의해 매번 일정하지 않을 수 있기 때문에 제품의 품질과 생산 공정에 큰 영향을 미치고 있어 무인 운반차의 정지 위치에 따른 오차를 보정하기 위해 비전 카메라 등을 통해 시스템을 구성하고 있으나, 비전 카메라는 조명에 민감하기 때문에 사용 환경에 대한 고려가 필요하다. 특히, 영상 처리 및 분석 등에 대한 기술을 요구하기 때문에 카메라의 성능, 설치 인건비 등을 포함한 초기 투자 비용이 크고 구축에 많은 시간이 소요된다. 이에 따라, 환경이 열악한 일반적인 소규모 사업장에서는 시스템을 적용하기에 어려움이 존재한다.

본 논문에서는 무인 운반차로 인해 발생되는 협동 로봇의 위치를 보정하기 위해 상대적으로 가격이 저렴한 2개의 초음파 센서를 통해 발생한 각도와 거리에 대한 오차를 수집하여 분석하고, 로봇의 자세를 보정하였다. 제안 모델을 통해 구현한 시스템에서 초음파 센서 적용 전 측정 결과, 24mm~30mm 구간에서 거리 오차를 기록하였지만, 초음파 센서를 적용 후 7mm에 가깝게 이동하며 위치 편차가 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 다만, 초음파 센서의 특성상 측정값에 대한 허용 오차 범위가 높기 때문에, 제품 공

www.kci.go.kr

급하는 과정에서 미세한 오차를 갖는 정교한 작업 환경에서 적용하기 어렵다는 한계가 존재했다.

반면, 약간의 오차가 허용되는 일반적인 작업 환경에서는 초음파 센서를 통해 위치 오차를 보정할 경우, 협동 로봇의 자세 오차가 줄어드는 것이 확인되었다. 향후 정밀도가 더 요구되는 공정에 적용하기 위해서는 비전 카메라와 같은 다양한 측정 센서들을 적용하여, 정밀도 향상에 대한 수치 데이터 분석, 초기 투자 비용과 유지보수 비용에 대한 평균을 조사를 바탕으로 효율성 평가 지표 분석이 추가로 필요하다.

로봇의 정밀도는 품질 등 작업 효율성의 증가와 전체적인 생산 공정에서의 신뢰성을 확보할 수 있다. 무인 운반차를 활용한 이동형 협동 로봇은 여러 대를 도입하기 부담되거나 또는 작업 공간을 효율적으로 사용해야 하는 중소기업 등 소규모 사업장에 적합하다. 특히, 센서의 검출 데이터를 PC를 통해 분석하고 보정함으로써, 다양한 종류의 센서를 적용하여 사용할 수 있다. 향후 연구에서는 다양한 센서를 도입하여 비교 분석하고, 이를 기반으로 머신러닝 기반의 오차 예측 모델, 스마트 팩토리와의 연계를 통해 공정 최적화 등 유연한 제조 시스템을 저가의 비용으로 효율적으로 구축하는데, 도움이 될 것으로 기대된다.

REFERENCES

[1] Aziza, M. B., Badri, A., & Jemai, H. “Digital Transformation in Industrial Contexts: How AGVs and Cobots Are Transforming Workplaces Amid Safety Challenges.” Automation, Robotics & Communications for Industry 4.0/5.0, pp. 223, February 2025.

[2] Kim, D., Lim, E. G., & Kim, J. B. “Development of a robot system for automatic de-palletizing of parcels loaded in rolltainer.” The Journal of Korea Robotics Society, Vol. 17, No. 4, pp. 431-437, 2022. DOI: 10.7746/jkros.2022.17.4.431

[3] Cho, H., & Kim, S., "Development of magnet position device for outdoor magnet guidance vehicle." Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 24, No. 3, pp. 259-264, 2014. DOI: 10.5391/JKIIS.2014.24.3.259

[4] Kim, Y. H., & Kim, J. O., ""A design methodology of task safety scenario for the application of collaborative robots." The Journal of Korea Robotics Society, Vol. 15, No. 3, pp. 256-268, August 2020. DOI: 10.7746/jkros.2020.15.3.256

[5] Ansari, F., Hold, P., Mayrhofer, W., Schlund, S., & Sihn, W., "AUTODIDACT: Introducing the Concept of Mutual Learning into a Smart Factory Industry 4.0." International Association for Development of the Information Society, pp. 61-68, 2018

[6] Li, W., Li, P., Jin, L., Xu, R., Guo, J., & Wang, J. “ Compliant-Control-Based Assisted Walking with Mobile Manipulator.” Biomimetics, Vol. 9, No. 2, pp. 104, 2024. DOI : 10.3390/biomimetics9020104

[7] Minjae Park, Jin Seok Hong, and Nam Kyu Kwon, "Deep Reinforcement Learning Based on the Hindsight Experience Replay for Autonomous Driving of Mobile Robot," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 28, No. 11, pp. 1006-1012, 2022. DOI: 10.5302/J.ICROS.2022.22.0145

[8] El-Sheimy, N., & Li, Y. “Indoor navigation: State of the art and future trends.” Satellite Navigation, Vol. 2, No. 1, pp. 7, May 2021 DOI: 10.1186/s43020-021-00041-3

[9] Kwon, Y., & Jung, I. “Performance Evaluation Using Neural Network Learning of Indoor Autonomous Vehicle Based on LiDAR.” KIPS Transactions on Computer and Communication Systems, Vol. 12, No. 3, pp. 93-102, 2023. DOI : 10.3745/KTCCS.2023.12.3.93

[10] Young Kap Son, and Bong-Seok Kim, "Reliability Estimation of Position Repeatability for Robot Systems," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A, Vol. 47, No. 2, pp. 115-121, 2023. DOI: 10.3795/KSME-A.2023.47.2.115

[11] Kwanwoo Lee, Junheon Yoon, Suhan Park, and Jaeheung Park, "Performance Evaluation of Robotic Physics Engine for Mobile Manipulator Simulation," The Journal of Korea Robotics Society, Vol. 19, No. 1, pp. 31-38, 2024. DOI: 10.7746/jkros.2024.19.1.031

[12] TaeSeok Jin, and JangMyung Lee, "Localization and Navigation of a Mobile Robot using Single Ultrasonic Sensor Module," The Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control, Vol. 42, No. 2, pp. 1-10, 2005.

[13] Kim, S. H., & Lee, H. G.,"Implementation of Pattern Recognition Algorithm Using Line Scan Camera for Recognition of Path and Location of AGV." Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 23, No. 1, pp. 13-21, February 2018.

[14] Khaleel, H. Z., Ahmed, A. K., Al-Obaidi, A. S. M., Luckyardi, S., Al Husaeni, D. F., Mahmod, R. A., & Humaidi, A. J. “Measurement enhancement of ultrasonic sensor using pelican optimization algorithm for robotic application.” Indonesian Journal of Science and Technology, Vol. 9, No. 1, pp. 145-162, 2024. DOI: 10.17509/ijost.v9i1.64843

[15] Hyungchul Im, and Seongsoo Lee, "Interference Elimination Method of Ultrasonic Sensors Using K-Nearest Neighbor Algorithm," Journal of IKEEE, Vol. 26, No. 2, pp. 169-175, 2022.

www.kci.go.kr

Authors

Jong-Joo Kim received his M.S. degree in Computer Engineering from Kongju National University in 2023. He is currently pursuing a Ph.D. in the same department at Kongju National University since 2024.

I am interested in configuring automation systems such as smart factories and IOTs applied with computers.

Seung-min Oh received the B.S. and Ph.D. degrees in computer engineering from Chungnam National University, Republic of Korea, in 2009 and 2015, respectively. From 2016 to 2019, he was a Postdoctoral Researcher with the Network Research Laboratory, University of California at Los Angeles, Los Angeles, CA, USA. Since 2019, he has been an Associate Professor with the Department of Computer Science and Engineering, Kongju National University. His research interests include routing protocols and applications for sensor networks, the Internet of Things (IoT), and the Internet of Vehicles (IoV).

Seong-Hyun Park received the B. S. degree in College of Arts and Music from Chungnam National University, Korea in 2017. The M. S, and Ph. D. degrees in Computer Engineering from Kongju National University, Korea, in 2017, 2020. He is currently a teaching in the Department of Computer Science & Engineering. Kongju National University. He is interested in computer music, convergence Education. and Real Time System and Management and Clout computing and Communication

www.kci.go.kr