

무인 화물이송 이동로봇의 설계에 관한 연구

Study on Design of Mobile Robot for Autonomous Freight Transportation

정동혁* · 박진일** · 김용태***†

Dong-Hyuk Jeong, Jin-Il Park and Yong-Tae Kim†

*국립한경대학교 전기전자제어공학과

† Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University

**국립한경대학교 스마트물류연구센터

Smart Logistics Technology Institute, Hankyong National University

요 약

본 논문은 물류 창고 내에서 화물이송을 위한 무인이송로봇을 설계 제작하고 운영기법을 제안한다. 무인이송로봇의 자율 주행을 위해서는 먼저 실시간으로 자기위치를 파악하고 목표지점까지의 경로를 추종해야 한다. 기존의 여러 방식이 제안되었지만 설치 및 유지보수에 대한 비용이 많이 들기 때문에 목적에 따라 유동적으로 작업 환경을 바꾸기는 어렵다는 단점이 있다. 무인 화물이송로봇의 리프트는 상하 운동을 통하여 수화물이 적재된 팔레트의 승하차가 가능하며, 구동 중 다양한 환경에서 여러 기능을 수행하기 위해 초음파센서, LRF센서, RFID, QR코드, 카메라를 장착하였으며, 목표지점까지 효과적으로 주행하며 화물운송을 하는 운영방법을 제안하였다. 제안한 주행 및 운영기법은 실험을 통하여 검증하였다.

키워드 : 무인이송로봇, 자율 주행, 화물 이송, QR Code, RFID, 물류

Abstract

In the paper, we design a autonomous mobile robot for freight transportation and propose an operation method of the robot in the warehouse. In order to implement autonomous navigation, it is needed to recognize the position of the robot and track the path to the target. Previous methods are hard to change the workspace environment and need high cost to install and keep a maintenance of the system. The lifter of freight transportation robot is designed to load and unload a baggage through up and down motion. Also, ultrasonic sensor, RFID, QR-code and camera sensor is used to carry out various functions while the robot navigates in the various environment. We design an operation method of the mobile robot in order to effectively arrive a goal position and transport a freight. The proposed methods are verified through various experiments.

Key Words : Autonomous Mobile Robot, Autonomous Navigation, Freight Transportation, QR Code, RFID, Logistics

1. 서 론

접수일자: 2013년 3월 31일

심사(수정)일자: 2013년 4월 7일

게재확정일자 : 2013년 5월 16일

† Corresponding author

본 논문은 2013년 한국지능시스템학회 춘계 학술대회에서 우수 논문으로 선정된 논문입니다.

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업의 일환으로 수행하였음. [GRRC 한경2011-B01, 스마트물류기술연구센터]

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

20세기 많은 미래학자들은 무엇보다도 정보화에 관심을 갖고 이에 따른 IT기술, 산업, 문화, 사회, 도시패턴 변화를 예측하였다. 이에 따른 소비자의 다양화된 요구와 상품의 주기 단축으로 신속하고 정확한 고객서비스의 필요성이 증대되고 있는 상황에서 효율적인 물류활동을 위한 물류자동화 시스템 구축은 필수적이다. 필요한 정보를 유기적으로 결합하여 제공하면서 물류비용 절감 뿐 아니라 고객 서비스를 향상하고 경쟁우위 확보를 위한 물류자동화시스템 구축이 필요하다. 따라서 물류자동화 시스템의 혁신이 기업의 경쟁력을 좌우하는 핵심요인이 되고 있다. 하지만 국내에서는 여전히 외국에서 개발한 물류장비나 자동화시스템을 단순히 수입하여 활용하고 있는 경우가 다수였다. 최근 들어 많은 국내 기업들의 물류관리에서 이익극대화, 효율성증가를 위해 많은 물류시스템을 도입하고 있다. 따라서 물류 기술의 관심도와 필요성이 높아지면서 물류이송, 도시물류, 자동화, 효율화, 친환경기술 및 무인화기술 등 관련 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2].

특히 AGV(Autonomous Guided Vehicle) 시스템은 생산 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요소로 자리 잡고 있다. 특히 AGV 일종인 Amazon사의 키바시스템(KIVA system)[3]은 로봇 상·하단의 카메라를 이용하여 바코드를 읽어 들여, 위치파악 및 선반의 내용물의 파악이 가능하며, 현재 상용화 되어 실제 산업현장에 보급되고 있다.

무인이송로봇의 자율 주행을 위해서는 실시간으로 자기 위치 파악[4], 경로의 생성과 추종[5] 하는 것이 우선적이다. 대표적인 방법으로 자기-자이로유도(magnet-gyro guidance), 유선유도(wire guidance)와 같은 기존의 여러 방식이 있지만, 설치 및 유지보수에 대한 비용이 많기 때문에 목적에 따라 유동적으로 작업환경을 바꾸기는 어렵다는 단점이 있다[6].

본 논문에서는 이러한 단점을 개선하기 위해서 RFID와 QR(Quick Response)코드[7] 시스템을 사용하였다. RFID는 인식속도와 정확성, 쉬운 조작성의 특징이 있고, QR코드는 오염과 손상에 강하여 훼손 시 높은 복원율의 특성까지 지니기 때문에 설치 및 유지보수의 비용절감이 가능하다.

본 논문에서는 무인이송 로봇을 실제 설계·제작하고, 자율주행 시 위치 보정, 팔레트 인식, 장애물 회피 등 로봇이 수화물을 목표지점까지 화물 이송하는 구동기법을 제안하였으며, 실험을 통하여 제안 방법의 성능을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 무인 화물 이송 로봇 시스템 구성과 로봇의 기구학 모델을 설명하고, 3장에 무인화물이송로봇의 구동기법에 관하여 제안하였다. 4장에서는 제안한 기법의 성능을 실험을 통하여 검증하고, 5장에서 결론을 맺었다.

2. 무인 화물이송 이동로봇의 구조

2.1 무인 화물이송 로봇시스템의 구성

무인화물 이송로봇시스템은 그림 1과 같이 주제어부, 모션 제어부, 관제 PC부로 구성하였다. 주제어부는 리눅스 기반 임베디드 보드를 사용하여 운동 계획과 영상처리 및 LRF센서의 데이터처리를 수행하고, 모션 제어부는 ARM사의 Cortex-M3 계열을 사용해 실시간으로 모터 제어와 센서 값들을 처리한다. 또한 관제 PC의 어플리케이션과 실시간으로 통신을 하여 상태 모니터링, 간단한 비상정지기능 및 명령 전송이 가능하다.

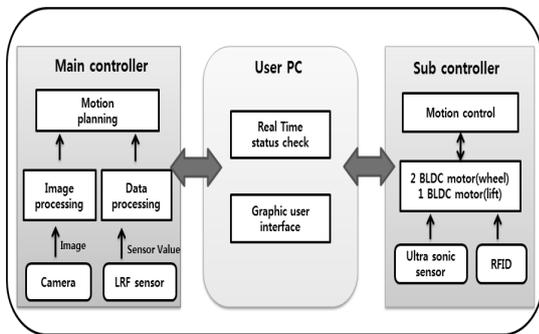


그림 1. 무인 화물이송 로봇 시스템구조
Fig. 1. Overall structure of autonomous freight transportation robot

일반적으로 무인이송로봇의 조향 방식은 삼륜구동, 다륜구동, 차륜 구동으로 분류된다. 차륜구동방식은 양 바퀴의 속도차이를 이용하여 조향이 가능하며, 비교적 간단한 메커니즘을 지니고 있어 흔히 사용되고 있다. 본 논문에서는 그림 2와 같이 로봇을 구동하기 위하여 바퀴 구동부에 2개의 BLDC 모터를 사용하는 차륜구동방식을 적용하였으며, 로봇 하단의 전·후면에는 추가적으로 구동부가 없는 보조바퀴를 구성하였다. 리프트부의 구동방식은 1개 BLDC의 모터를 이용한 상하 운동이 가능하도록 설계하였으며, 센서로는 CCD카메라, LRF센서, 초음파센서, RFID를 사용하였다. 그림 3은 제작된 화물이송로봇의 사진이다.

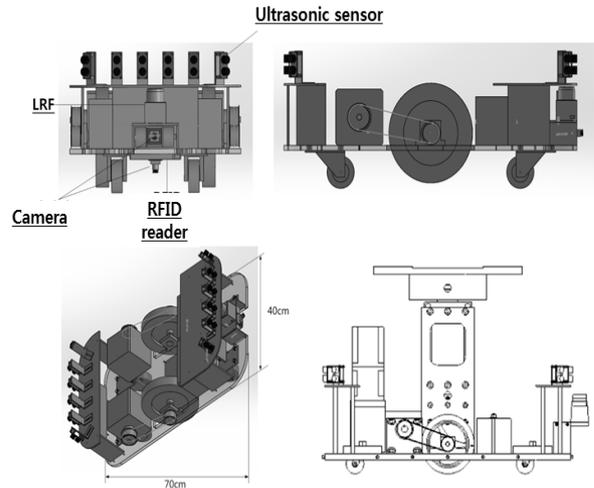


그림 2. 화물이송로봇의 기구 설계
Fig. 2. Mechanical design of freight transportation robot

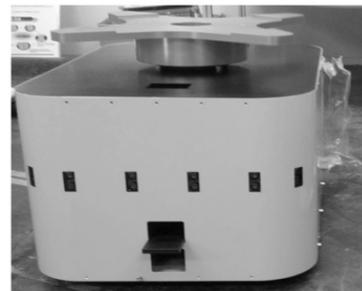


그림 3. 화물이송로봇 사진
Fig. 3. Photo of a freight transportation robot

물류창고 내에서 수화물을 옮기기 위한 화물이송로봇의 리프트 구조는 매우 중요한 요소 중 하나이다. KIVA 시스템은 나선형 볼 베어링 기반 리프트 구조를 적용하였으며, 리프트모듈은 고정되고 로봇 몸체만의 회전운동을 통하여 팔레트의 높이의 따라 승강 프레임의 높이를 조정할 수 있다. 본 논문에서 제안한 리프트 구조는 그림 4와 같다. 그림과 같이 원통 안에 나선형 리프트모듈을 구성하였으며, 동력전달은 BLDC모터와 기어 비를 갖는 벨트방식을 채택하였다. 또한 리미트 스위치를 이용하여 리프트승강 프레임의 승·하차 시 프레임의 높이 조절이 가능하다.

리프트모듈의 적재 가능한 중량은 최대 60kg이며, 로봇 구동부의 하중을 덜어 주기위한 보조바퀴 2개가 로봇 하단에 구성되어 있다.

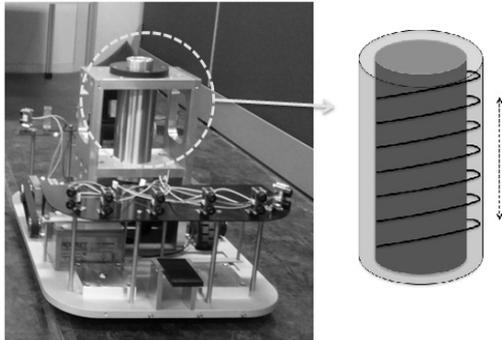


그림 4. 리프트 설계 구조
Fig. 4. Design structure of lift module

2.2 무인 화물이송 이동로봇의 기구학적 모델

본 논문에서 개발된 무인화물이송 이동로봇의 로봇은 일반적인 차륜형 구동방식을 사용하였고, 주행 제어를 위한 기구학 모델은 그림 5와 같다. 로봇의 중심점의 (x_c, y_c) 좌표이고, v 는 로봇 중심의 선속도, V_L 와 V_R 는 양 바퀴의 선속도이다. θ 는 로봇의 앞부분이 향하는 방향각이다. 간단한 기구학 모델을 얻기 위해 로봇 구동부의 바퀴는 미끄러짐이 없다고 가정하면, 다음 식 (1)과 식 (2)와 같은 기구학 방정식을 얻을 수 있다. 또한 w 는 반시계 방향으로 로봇의 각속도를 나타내며, w_r 과 w_l 은 로봇의 오른쪽과 왼쪽바퀴의 각속도를 나타낸다. l_1 은 로봇 양쪽 바퀴의 사이의 길이를 나타내고, r 은 로봇바퀴의 반지름을 나타낸다[8][9].

$$w = \frac{V_r - V_l}{l_1} = r \frac{w_r - w_l}{l_1} \tag{1}$$

$$v = \frac{V_r + V_l}{2} = r \frac{w_r + w_l}{2} \tag{2}$$

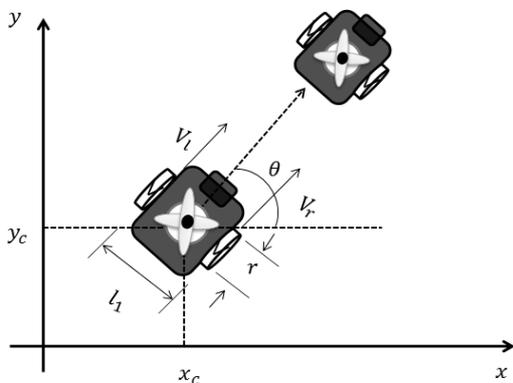


그림 5. 화물이송 로봇의 기구학적 모델
Fig. 5. Kinematic model of freight transportation robot

그림 6은 모듈형 로봇의 이동 궤적을 나타내며 다음의 식 (3)과 식 (4)를 얻을 수 있다.

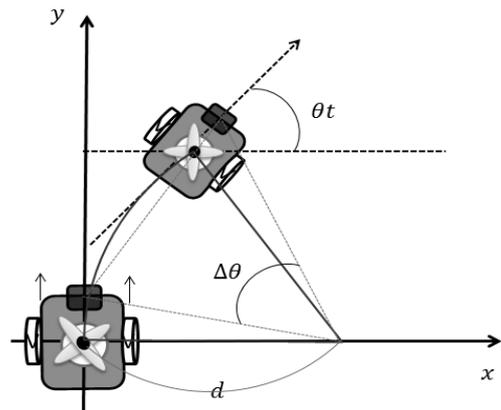


그림 6. 화물이송로봇의 이동궤적
Fig. 6. Movement trajectory of freight transportation robot

$$\Delta V_R : d + \frac{L}{2} = \Delta V_L : d - \frac{L}{2} \tag{3}$$

$$\frac{(\Delta V_L + \Delta V_R)L}{2} = (\Delta V_R - \Delta V_L)d \tag{4}$$

여기서 d 는 로봇이 이동한 궤적의 중심축과의 거리, ΔV_L 은 임의의 시간 Δt 동안 왼쪽 바퀴가 이동한 거리, ΔV_R 은 임의의 시간 동안 오른쪽 바퀴가 이동한 거리, $\Delta\theta$ 는 임의의 시간 동안 로봇이 이동한 궤적의 중심축과의 각도이다. 임의의 시간 Δt 동안에 양 바퀴의 이동거리를 통해서 로봇이 이동한 궤적의 중심축과의 거리 d 는 식 (4)로 부터 다음의 식 (5)와 같은 수식을 도출해 낼 수 있다.

$$d = \left(\frac{\Delta V_R + \Delta V_L}{\Delta V_R - \Delta V_L} \right) \left(\frac{L}{2} \right) \tag{5}$$

또한 임의의 시간 Δt 동안 로봇이 이동한 궤적의 중심축과의 각도 $\Delta\theta$ 와 로봇 중심의 이동거리 Δl 은 식 (6)과 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$\Delta\theta = \frac{\Delta V_R - \Delta V_L}{L} \tag{6}$$

$$\Delta l = \frac{\Delta V_R + \Delta V_L}{2} \tag{7}$$

3. 무인 화물이송 로봇의 구동 기법

3.1 QR코드 시스템

QR코드는 2차원 코드의 한 종류로써 1994년 일본 DENSO WAVE사가 발표하였다. 최초 바코드 시스템은 인식속도와 정확성, 쉬운 조작성 등의 특징으로 널리 보급되어 왔다. 이에 따라 보다 많은 데이터의 함축, 표시 면적의 최소화, 표시코드의 해독속도 개선 등 다양한 요구의 목소리가 높아져 왔다. 이러한 요구와 문제에 대응하기 위해서 2차원 코드가 출현하게 되었다. 하단의 그림 7은 QR코드의

특성을 나타낸다. 2차원 코드는 한 방향으로만 정보를 가지고 있는 바코드 시스템과 달리 가로, 세로 두 방향으로 정보를 함축함으로써 코드 내에 기록할 수 있는 정보량을 비약적으로 증가시킨 코드이다.

또한 QR코드는 오류복원기능을 통하여 코드의 일부가 더러워지거나 손상되어도 데이터를 복원 할 수 있으며, 그림 7과 같이 QR코드 내부의 위치찾기심볼을 이용하여 배경 모양의 영향을 받지 않고 360° 어느 각도에서도 고속으로 인식이 가능하다. 따라서 QR코드 내에 좌표정보를 포함한 랜드마크로 활용이 용이하다.

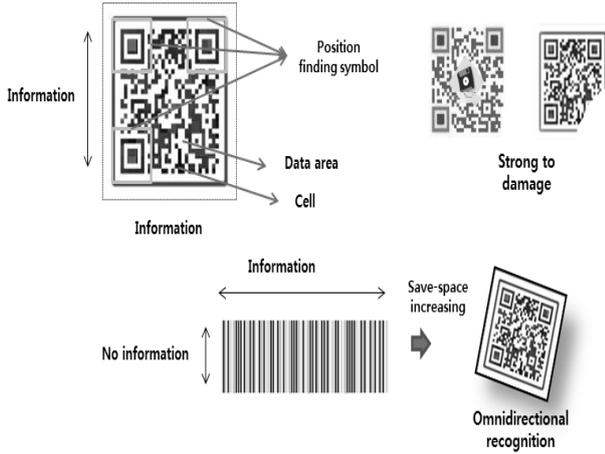


그림 7. QR 코드의 특성
Fig. 7. Characteristics of QR-code

3.2 무인 화물 이송로봇의 운영기법

화물이송로봇의 자율 주행을 위해서는 목표 지점까지 경로를 이탈하지 않고 경로추종을 해야 한다. 따라서 실제 물류 창고 내의 AGV와 마찬가지로 현재 위치 파악과 위치 보정을 고려해야 한다. 일반적인 방법으로 모터의 엔코더를 이용한 방법이 많이 사용되지만, 이는 바퀴의 미끄러짐 현상에 의한 오차 누적이 발생하는 문제점을 지닌다.

로봇이 자율주행 중에 노면의 상태, 주변 환경에 따라 진행방향의 오차가 존재 할 수 있다. 이는 초기에는 큰 영향을 미치지 않지만 시간이 지날수록 누적현상으로 인하여 크게는 진행경로를 이탈하게 될 수도 있다. 그림 8과 같이 목표점 (x_d, y_d) 와 현재 위치 (x_r, y_r) 와의 거리 및 각도 오차를 측정하여 이를 바탕으로 양 바퀴의 속도를 제어하여 목표점까지 이동한다. 목표점에서 로봇까지의 거리 오차는 d_e , 각도 오차는 θ_e 로 나타내면 다음의 식 (8)과 식 (9)와 같이 표현된다.

$$d_e = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \quad (8)$$

$$\theta_e = \theta_d - \theta_r \quad (9)$$

여기서 d_x 와 d_y 는 x 좌표와 y 좌표에서 원하는 위치와 로봇과의 거리차이고, θ_d 는 목표점과 로봇을 잇는 선각도이고, θ_r 은 현재 로봇의 방향각이다.

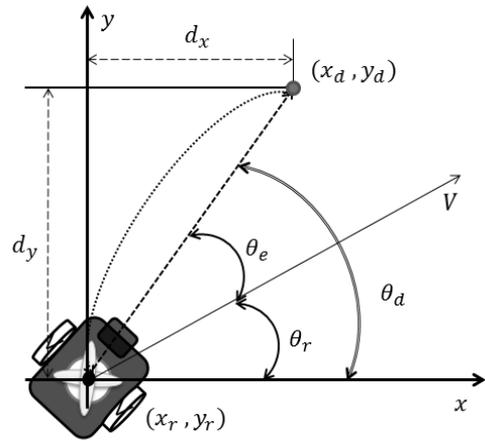


그림 8. 화물이송로봇의 거리 및 각도오차
Fig. 8. Distance and direction angle error of freight transportation robot

본 논문에서는 그림 9와 같은 화물이송로봇의 자율주행 알고리즘을 제안한다. 먼저 그림 10과 같이 미리 설정된 맵의 각 노드에 랜드마크를 위한 QR코드와 RFID 태그를 바닥면에 부착한다. 내부에는 미리 설정된 맵에서의 현재좌표를 포함하며, 로봇이 자율주행을 시작하면 실시간으로 QR코드와 RFID를 인식한다. 설정된 맵에서의 목표지점이 결정이 되면 그에 대한 경로가 생성이 되고, 로봇은 생성된 경로에 의해 현재노드 P_n 에서 다음노드 P_{n+1} 까지 이동하며 매번 랜드마크를 확인한다. 따라서 각 노드의 랜드마크마다 QR코드의 외부모서리를 카메라로 인식하고 로봇의 방향오차 θ_e 가 허용 오차보다 커질 경우 해당 노드에서 로봇을 멈추어 경로를 이탈하지 않도록 진행방향의 확인과 보정을 수행한다.

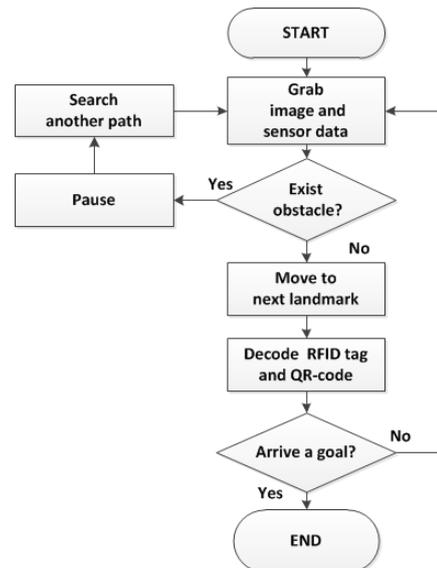


그림 9. 화물이송로봇의 자율주행알고리즘
Fig. 9. Autonomous navigation algorithm of freight transportation robot

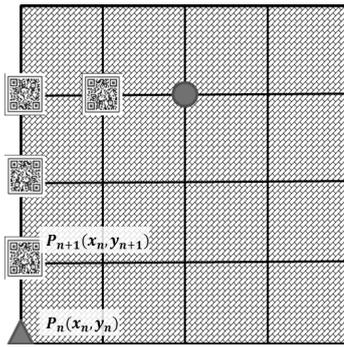


그림 10. 작업공간의 QR코드 기반 지도
Fig. 10. QR-code based map of workspace

리프트 상단의 RFID를 통하여 팔레트의 유무를 확인하게 되면 LRF센서를 이용하여 전면 팔레트의 두 다리를 감지한다[10]. 그림 11과 같이 일정 거리 내에 두 다리를 인식하면 팔레트 중앙 지점에서 로봇은 정지 상태에 이르게 되고, 리프트 구동 명령을 받아 팔레트를 들어 올리게 된다. 이후에 제자리에서 정해진 방향으로 조향하게 되고 생성된 경로의 다음노드로 이동하게 된다. 또한 장애물과의 거리에 따라 긴 거리는 로봇 전면부의 LRF센서를 이용하고, 상대적으로 짧은 거리는 전·후면부의 초음파센서를 통해 충돌회피 및 팔레트를 인식을 할 수 있도록 구성하였다.

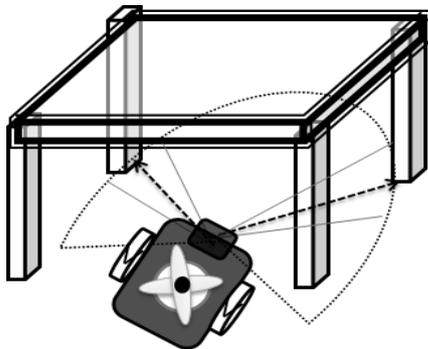


그림 11. LRF센서를 사용한 팔레트인식
Fig. 11. Recognition of a pallet legs using LRF sensor

4. 실험 결과

그림 12는 관제 PC의 상태모니터링 프로그램 화면이다. 관제 PC부는 네트워크 서버를 이루며 로봇과 무선통신으로 연결되어 있다. 또한 각 구성부의 상태를 실시간으로 모니터링하고 사용자가 직접 비상정지 및 간단한 조작이 가능하도록 설계하였다.

그림 13은 임베디드 시스템에서 카메라를 통해 좌표정보가 포함된 QR코드를 검출한 실험 결과이다. 그림 14는 시작점부터 출발점까지의 생성된 경로를 추종하기 위하여 바닥에 RFID Tag와 QR코드 랜드마크를 인식하고, 각 노드마다 현재 좌표를 디코딩 하여 목표지점까지 팔레트를 이동하는 실험 장면이다. 또한 리프트 승강 시 팔레트의 하단의

RFID Tag의 정보를 읽어 들여 팔레트 선반의 내용물을 파악하는 것을 실험을 통해 확인하였다.

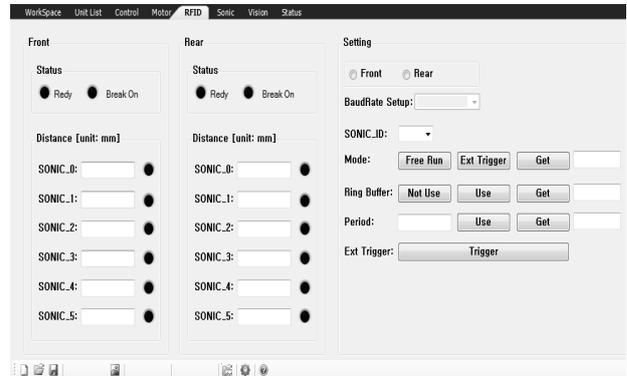


그림 12. 상태모니터링 프로그램 화면
Fig. 12. Snapshot of state monitoring program

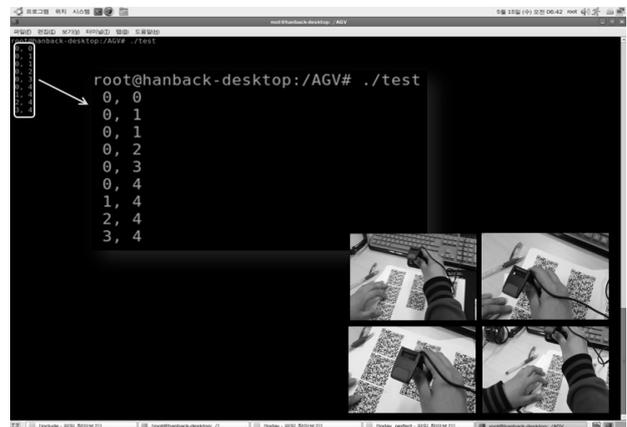


그림 13. QR코드 디코딩 실험
Fig. 13. Decoding experiments of QR-code

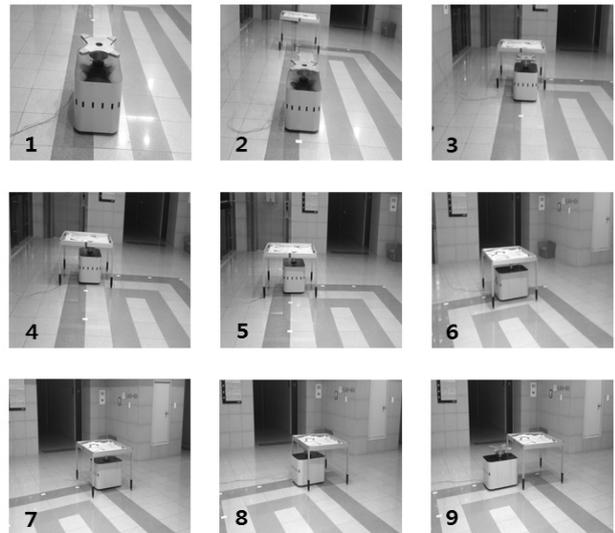


그림 14. 화물이송로봇의 주행 실험 장면
Fig. 14. Snapshots of a navigation experiment of freight transportation robot

5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 물류 창고 내에서 화물이송을 위한 무인 화물 이송로봇을 실제 설계 및 제작하고, 구동 알고리즘을 제안 하였다. 또한 카메라의 영상처리와 RFID를 통하여 현재 위치를 인식하고 로봇이 목표지점까지 이동하는 운영 알고리즘을 실험을 통하여 검증하였다. 카메라 시야각이 고정된 상태에서의 QR코드의 인식률은 100%에 가깝지만, 자율 주행 중에는 상대적으로 어두운 조명의 영향과 카메라와 QR 코드와의 거리, 로봇 주행 속도의 영향을 받아 인식률이 75% 정도로 감소되는 것을 확인하였다. 추후에는 실내 지도 작성, 최적 경로 계획, 자율 주행 중 QR코드의 최적 인식 방법에 관하여 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] I. A. Vis, "Survey of Research in the Design and control of Automated Guided Vehicle System", *European Journal of Operational Research*, vol. 170, no. 3, pp. 677-709, 2006.
- [2] Schulze L, Wullner A, "The Approach of Automated Guided Vehicle Systems", *IEEE International Service Operations and Logistics, and Informatics*, pp. 522-527, 2006.
- [3] <http://www.kivasystems.com/>
- [4] N. Y. Ko, D. J. Seo, Y. S. Moon, "A Method for Real Time Target Following of a Mobile Robot Using Heading and Distance Information", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 18, no. 5, pp. 624-631, 2008.
- [5] J. M. Kim, J. J. Park, T. R. Jeon, S. S. Kim, "Fuzzy and Proportional Controls for Driving Control of Forklift AGV", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 19, no. 05, pp. 699-705, 2009.
- [6] H. J. Hong, Y. S. Ro, H. J. Kang, Y. S. Suh, T. H. Kim, "Development of the Simulation Tool for The Modeling and Traffic Control of a AGV System", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 14, no. 4, pp. 499-505, 2004.
- [7] N. W. Nam, P. J. Lee, M. S. Jung, J. S. Han, K. R. Kim, H. Yoo, "Image Processing Technique for Recognition of 2D Bar code", *IEEK Fall Conference*, vol. 5, pp. 117-120, 2008.
- [8] D. Y. Na, H. H. Min, S. H. Noh, Y. T. Kim, "A Navigation Algorithm of Modular Robots with 3 DOF Docking Arm in Uneven Environments", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 311-317, 2010.
- [9] S. F. Kwack, B. J. Choi, S. H. Yoo, "A Study on Path Planning and Navigation of Autonomous Mobile Robot", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 427-430, 2005.

- [10] D. H. Jeong, J. H. Park, J. I. Park, Y. T. Kim, "A study on Omni-direction mobile robot for freight transportation", *Conference on Information and Control System*, pp. 137-138, 2012.

저 자 소 개



정동혁(Dong-Hyuk Jeong)

2012년 : 한경대학교 정보제어공학과 졸업(학사)

2013년 : 한경대학교 대학원 석사과정

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템, 물류 자동화
E-mail : jdhyuk87@hknu.ac.kr



박진일(Jin-II Park)

2001년 : 한밭대학교 제어계측공학과 공학사(졸업)

2003년 : 한밭대학교 제어계측공학과 공학석사

2011년 : 충북대학교 제어계측공학과 공학박사

2011 ~ 현재 : 국립 한경대학교 스마트물류기술센터 연구교수

관심분야 : 지능로봇, 다중생체인식, 퍼지이론, 물류 자동화
Phone : +82-31-670-5674
E-mail : moralskr@yahoo.co.kr



김용태(Yong-Tae Kim)

1991년 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1998년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1998년 ~ 2000년 : (주)삼성전자

2006년 : Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 방문연구
2002년 ~ 현재 : 국립 한경대학교 전기전자제어공학과 교수

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템, 지능제어, 물류 자동화
Phone : +82-31-670-5292
E-mail : ytkim@hknu.ac.kr