

네트워크 기반 무인지게차를 위한 팔레트 자율적재기술의 개발

Development of Autonomous Loading and Unloading for Network-based Unmanned Forklift

박지훈, 김민환, 이석*, 이경창
(Jee-Hun Park¹, Minhwan Kim¹, Suk Lee¹, and Kyung-Chang Lee²)

¹Pusan National University

²Pukyong National University

Abstract: Unmanned autonomous forklifts have a great potential to enhance the productivity of material handling in various applications because these forklifts can pick up and deliver loads without an operator and any fixed guide. Especially, automation of pallet loading and unloading technique is useful for enhancing performance of logistics and reducing cost for automation system. There are, however, many technical difficulties in developing such forklifts including localization, map building, sensor fusion, control, and so on. This is because the system requires numerous sensors, actuators, and controllers that need to be connected with each other, and the number of connections grows very rapidly as the number of devices grows. This paper presents a vision sensor-based autonomous loading and unloading for network-based unmanned forklift where system components are connected to a shared CAN network. Functions such as image processing and control algorithm are divided into small tasks that are distributed over a number of microcontrollers with a limited computing capacity. And the experimental results show that proposed architecture can be an appropriate choice for autonomous loading in the unmanned forklift.

Keywords: unmanned autonomous forklift, network-based distributed control system, vision sensor, embedded control system, CAN (Controller Area Network)

I. 서론

국가간의 물동량을 처리하기 위해 현재의 물류시스템은 점차 대형화되고 집적화되고 있다. 최근 항만과 공항과 같은 물류시스템에서는 급속히 증가하고 있는 물동량을 처리하기 위해서 자동창고, 무인이송장치와 같은 자동화 장비를 적극적으로 적용하고 있다. 특히, 물류창고, 생산라인에서 물자를 하역 및 적재하는 역할을 하는 지게차(forklift)나 무인운반차량(AGV: Automated Guided Vehicle)의 사용이 증가하고 있다. 대표적으로 무인 팔레트 트럭(automated pallet truck)은 팔레트를 적재할 때는 운전자에 의하여 조정되고, 이동할 때는 정해진 경로에 따라 바닥에 설치된 바닥 유도선(embedded guide wire)이나 페인트 띠(paint strip)를 따라 자동으로 움직인다[1].

그러나 무인 팔레트 트럭의 경우는 신규로 바닥 유도선을 설치하기 어려운 기존의 창고나 환경적인 영향으로 페인트 띠를 깨끗하게 유지할 수 없는 곳에서의 적용이 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 기존의 창고와 같이 비 정형화된 환경에서도 운영될 수 있는 무인 운반 차량에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[2,3]. 무인 운반 차량은 비전 시스템이나 레이저 센서 등을 이용하여 경로상의 장애물을 회피하고, 상황에 따라 더 효율적인 경로를 탐색하고 선택하

는 등 물류 시스템에서의 유연성을 향상시키는 역할을 하고 있다.

최근 연구 및 개발이 진행되고 있는 무인 운반 차량을 구현하기 위해서는 차량의 주행 및 조향 제어, 차량의 위치 인식, 환경 인식, 장애물 감지 및 회피, 작업 할당, 경로 계획 등과 같은 다양한 요소 기술들이 필요하다[4,5]. 일반적으로 무인 운반 차량에서의 주행 기술이나 환경 인식을 통한 장애물 감지 및 회피, 경로 계획 등은 오랫동안 연구되어 다수의 실용적인 연구성과들이 도출되었다[6-8]. 하지만 물품의 하역과 적재를 주 목적으로 하고 있는 무인지게차의 경우는 위에서 언급한 수 많은 요소 기술을 비롯하여 스스로 팔레트를 인식하고 이를 자율적재 할 수 있는 기술이 추가적으로 요구된다.

일반적으로 지게차는 기존의 물품 창고와 같이 정형화 되어 있지 않은 공간에서 하역과 적재 작업을 수행한다. 그러나 이런 공간에서는 다양한 환경적인 영향으로 인해서 물품이 자동창고시스템(AS/RS)에서처럼 정확한 위치와 자세(x, y, θ)로 놓여져 있지 않는 경우가 종종 발생한다. 따라서 무인지게차는 지시된 팔레트 위치 정보에만 의지해서는 안되며, 자율적으로 팔레트의 위치를 인식할 수 있어야 한다. 가장 대표적인 팔레트 감지 시스템은 포크캐리지(fork carriage) 상단에 2차원 감지 범위를 가지는 레이저 스캐너를 설치하여 팔레트 홀을 스캔하는 방식이다[9]. 그러나 이 방식은 팔레트 홀을 찾기 위해서 포크캐리지를 상하로 이동해야 하기 때문에 감지 시간이 비교적 길며, 시스템을 구축하기 위한 비용이 높다는 단점이 있다.

본 논문에서는 선행 연구[10]를 통해 개발된 무인자율주행

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 5. 25., 수정: 2011. 7. 21., 채택확정: 2011. 7. 27.

박지훈, 이석: 부산대학교 기계공학부

(network@pnu.edu/slee@pnu.edu)

김민환: 부산대학교 컴퓨터공학부(mhkim@pnu.edu)

이경창: 부경대학교 제어계측공학과(gclee@pknu.ac.kr)

※ 이 논문은 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임
(지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단).

지게차의 자율 적재 기술을 개발하기 위해서 비전 센서 기반의 자율 적재 기술을 설계하고 그 성능을 평가하였다. 본 논문에서 제안하는 비전 센서 기반 자율 적재 기술은 기능적으로 자기 위치 인식 모듈, 팔레트 인식 모듈, 포크 제어 모듈, 주행 제어 모듈로 구성되어 있다. 각각의 모듈은 차량용 내부 네트워크에 주로 사용되는 CAN (Controller Area Network) 을 이용하여 연결되며, 독립적으로 태스크를 수행 한 후 필요한 정보만을 공유하게 된다. 이러한 구조를 통해서 무인지게차를 주행 모드와 하역 및 적재 모드로 구분하여 제어할 수 있으며, 개별 모듈의 재 사용성도 높일 수 있다. 또한, 추후에 제어 알고리즘의 수정이나 센서, 액추에이터 등을 변경하는 경우에도 시스템 전체 구조를 변경하지 않고, 각각의 기능에 해당하는 모듈만 교체할 수 있어 유지 및 보수에도 유리하다.

본 논문은 서론을 포함하여 V 장으로 구성되어 있다. II 장에서는 선행 연구를 통해 개발된 무인지게차의 구조와 팔레트 감지를 위한 비전 센서에 대해 설명한다. III 장에서는 이러한 구조를 이용하여 설계한 자율 적재 기술에 대해 설명하고, IV 장에서는 자율 적재 알고리즘을 구현하여 성능을 평가하였다. 마지막으로 V 장에서는 연구 결과에 대해 요약하고 향후 과제에 대해 제시하였다.

II. 무인지게차의 자율적재를 위한 요소기술

1. 분산 제어 네트워크를 이용한 무인지게차의 구성

그림 1은 선행 연구[10]를 통해서 제안된 분산 제어 네트워크 기반 무인 지게차의 구성을 블록도로 나타낸 것이다. 그림에서, 무인 자율 주행 지게차를 위하여 구성된 네트워크

기반 분산 제어 시스템은 6개의 모듈로 구성되어 있다. 첫째, 주 제어 모듈(main control module)은 무인 자율 주행 지게차의 차체(body) 제어를 담당한다. 그림에서, 주 제어기(K(s))는 외부 작업 할당기에서 작업 정보를 무선으로 수신 받아서 경로를 생성하고, 네트워크를 통해 주행 제어 모듈, 조향 제어 모듈 그리고 포크 제어 모듈에 제어량을 전송한다.

둘째, 주행 제어 모듈(traction control module)은 지게차의 차속을 제어하는 역할을 담당한다. 주행 제어 모듈은 네트워크를 통해 주 제어 모듈로부터 속도값을 수신하여, 속도값이 갱신될 때까지 수신된 차속을 유지한다.

셋째, 조향 제어 모듈(steer control module)은 지게차의 조향 각도를 제어하는 역할을 담당한다. 조향 제어기는 네트워크를 통해 주 제어 모듈로부터 조향값을 수신하여, 조향값이 갱신될 때까지 수신된 조향 각도를 유지한다. 조향 제어 모듈은 지게차의 전역 좌표계상의 자세와는 별개로 주 제어 모듈로부터 수신된 조향 각도만을 제어한다.

넷째, 포크 제어 모듈(fork control module)은 지게차에 설치된 포크의 높이와 각도, 거리를 제어하는 역할을 담당하며, 유압 실린더에 연결된 압력 센서를 통해서 물품의 적재 유무를 판단한다. 포크 제어 모듈은 네트워크를 통해 주 제어 모듈로부터 포크의 높이값을 수신하여, 지게차의 포크를 제어한다.

다섯째, 팔레트 감지 모듈(pallet detection module)은 팔레트와 지게차와의 거리 및 팔레트가 놓여져 있는 각도, 팔레트에 있는 포크가 들어가는 홀의 위치를 계산하는 역할을 담당한다. 팔레트 감지 모듈은 비전 센서로부터 영상을 획득한 후, 상대 거리와 팔레트의 위치를 계산하여 네트워크를 통하

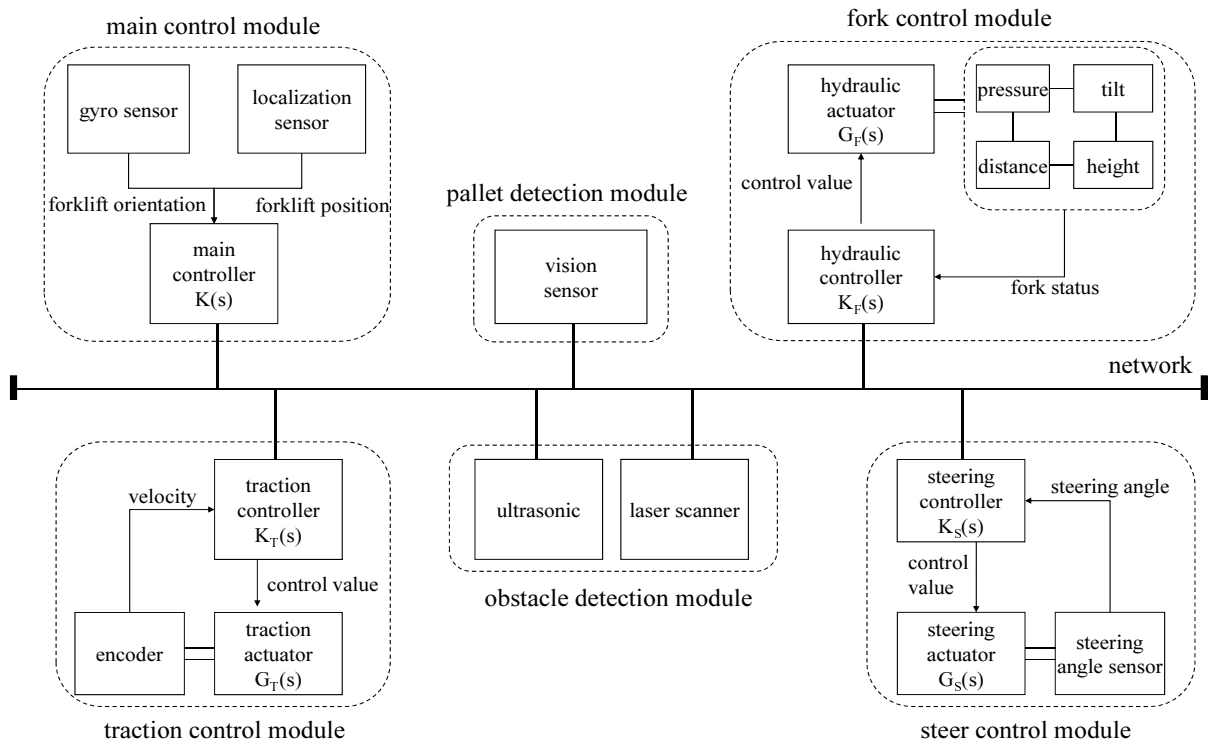


그림 1. 분산 제어 네트워크 기반 무인지게차의 구성도.
Fig. 1. Distributed control network-based unmanned forklift.

여 전송한다.

마지막으로 장애물 감지 모듈(obstacle detection module)은 지게차의 회전 반경을 고려한 근접 장애물의 감지를 담당하며, 이 영역에서 장애물이 감지되면 즉시 장애물의 정보(상대좌표)를 네트워크를 통해 주 제어 모듈로 전송한다.

2. 팔레트 감지를 위한 비전 센서

기존 창고와 같은 비 정형화된 공간에서는 팔레트 위의 화물을 적재하기 위해서 우선 팔레트를 인식하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 팔레트를 인식하기 위한 별도의 센서가 필요하며, 이를 이용해서 지게차와 팔레트간의 상대위치 및 상대각도를 측정할 수 있어야 한다. 예를 들어, 대표적인 팔레트 측정 센서인 레이저 스캐너[9]는 팔레트의 왼쪽 끝에서 오른쪽 끝까지 2차원 스캔을 통해서 세밀하게 거리를 측정하여, 상대 거리와 상대 각도를 측정한다. 그러나 레이저 센서는 정밀한 측정이 가능하고, 외란의 영향을 적게 받는 대신에 설치 비용이 매우 높다는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 무인지게차를 위한 자율 적재 기술을 개발하기 위해서 저가의 단일 비전 센서를 사용하였다. 비전 센서는 저가로 구현이 가능하고, 별도의 스캔 과정이 없기 때문에 비교적 고속 측정이 가능하다. 반면에 비전 센서는 레이저 센서에 비해서 환경적인 영향을 많이 받기 때문에, 이를 극복하기 위한 별도의 집중 조명이 필요할 수도 있다[11-13].

팔레트의 위치를 측정하기 위한 비전 센서의 기능은 크게 영상 입력을 통한 팔레트의 인식과 팔레트 정보를 이용한 상대 위치의 측정으로 구분된다. 그림 2는 팔레트를 인식하기 위한 비전 센서의 영상 처리 과정을 그림으로 나타낸 것이다. 팔레트의 인식은 기본적으로 팔레트의 기하적인 특징인 홀의 구성 정보와 홀 주변의 색상 정보로 결정된다. 비전 센서를 통해서 입력된 영상(그림 2(a))을 이진화 한 후, 형태학 연산을 수행하여 잡음에 해당하는 작은 영역을 제거(그림 2(b))한다. 다음에는 윤곽선 처리를 통하여 각 영역을 인식한 후, 두 홀의 가운데 영역, 왼쪽 영역, 오른쪽 영역 3부분의 픽셀을 수집하여 그 색상 분포의 유사도를 구하여 팔레트 홀을 확정(그림 2(c))한다. 마지막으로 지면과 평행한 팔레트 아래

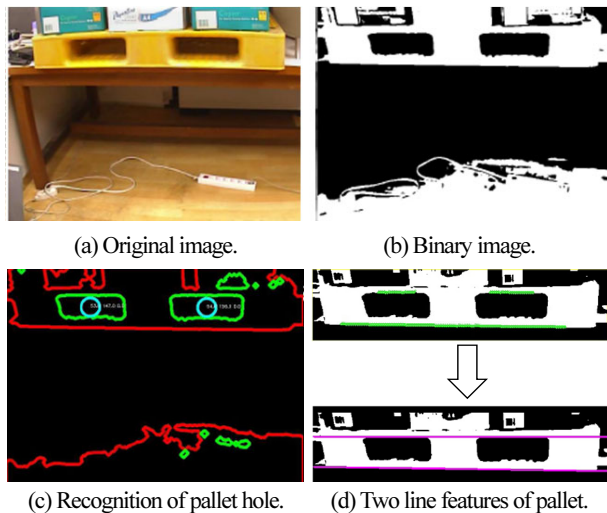


그림 2. 팔레트 인식을 위한 이미지 처리.
Fig. 2. Image processing for pallet recognition.

선을 기준으로 팔레트의 상대위치 및 상대각도를 계산하는데 사용할 2개의 라인을 확정(그림 2(d))한다.

본 논문에서 사용한 비전센서의 팔레트 인식 방법은 주변 조명의 변화(조명 종류, 색상, 밝기 등)에 무관하게 사용하기 위해서 이진화 임계값의 자동 결정 방법을 적용하였다. 이진화 임계값의 자동 결정 방법은 입력된 영상의 이진화 과정(그림 2(b))에서 이진화 임계값을 일정범위 내에서 변경시켜가면서 팔레트를 추출하는 방식이다[14].

팔레트의 자세를 결정하는 과정은 팔레트가 바닥면에 평행하게 놓여 있다는 가정을 이용한다. 우선 팔레트의 앞면이 지면에 수직이듯이 지면과 수직인 가상 평면을 하나 설정한다. 인식된 팔레트 영상에서 팔레트 아래 위의 경계선은 지면과 평행하기 때문에, 그림 3(a)에서 보는 것과 같이 투영 중심(카메라 좌표계의 원점)과 영상에서 구한 각 직선의 연장선이 영상의 좌우 끝에서 만나는 네 끝점들을 연결하는 네 개의 직선이 역 투영 선들이 된다. 그리고 역 투영 선들이 가상평면과 만나는 네 점들을 구함으로써 가상평면에서의 역 투영 된 두 직선을 구할 수 있다. 이러한 두 직선이 평행을 이룰 때까지 가상평면을 회전시켜 가면서 연산을 반복하면, 역 투영된 가상평면에서의 두 직선이 평행하게 될 때의 가상평면의 회전각을 팔레트 앞면의 자세를 나타내는 팔레트의 각으로 결정할 수 있다. 다음으로 지게차와 팔레트의 상대 위치를 파악하기 위해서는 그림 3(b)에서 보는 것과 같이 설정한 가상 평면과 비전 센서의 거리(dist(X^{OC} , virtual plane))와 팔레트의 실제 높이(h) 정보를 이용하였다. 가상 평면에서 나타난 팔레트의 높이(d)를 측정하여 비율 관계를 계산하면 지게차와 팔레트의 실제거리(dist(X^{OC} , pallet plane))를 계산할 수 있다. 실제로 비전센서를 이용한 이미지처리 및 측정은 좌표계의 변환을 포함한 복잡한 계산 과정이 필요하지만, 본 논문에서는 비전 센서를 이용한 자율 주행 기술의

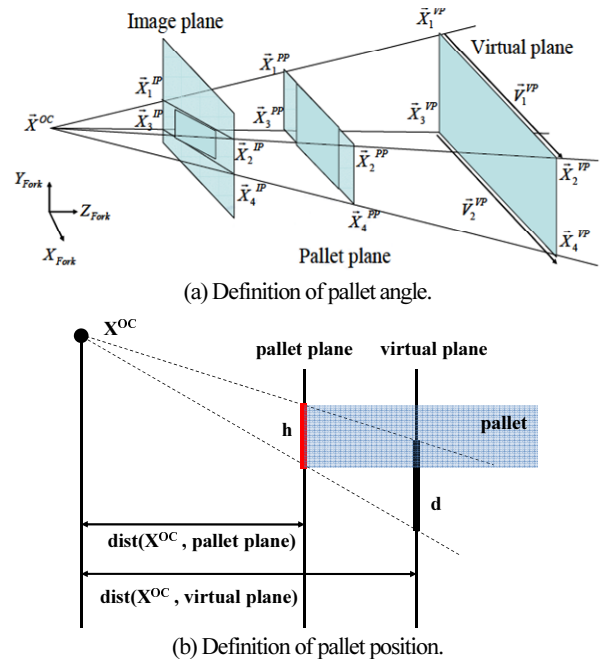


그림 3. 비전 센서를 이용한 팔레트 자세 측정 과정.
Fig. 3. Process of pallet position using vision sensor.

개발에 초점을 맞추고 있기 때문에 수식을 통한 자세한 설명은 생략하였다[11,12].

III. 네트워크 기반 자율적재기능의 개발

그림 4는 무인지게차에 자율 적재 기능을 개발하기 위해서 설치한 비전 센서의 위치를 도식적으로 나타낸 것이다. 일반적인 환경에서는 팔레트가 2층, 3층으로 쌓여져 있기 때문에, 포크캐리지의 높낮이 제어는 빈번하게 발생한다. 따라서 비전 센서가 항상 일정한 감지 범위(화각)를 가지도록 하기 위해서는 포크캐리지와 같이 움직이도록 설치하는 것이 유용하다. 반면에 설치한 위치에서는 화물을 적재하였을 경우, 비전 센서가 화물에 가려진다는 단점도 존재한다. 이런 이유로 물품을 하역시키는 작업 시에는 하역 위치를 지시하기 위한 별도의 센서가 필요하다. 이런 이유로 본 논문에서는 물품 적재 시에만 비전 센서를 이용하고, 물품 하역 시에는 전역위치센서를 사용하여 자율 적재 기능을 구현하였다.

비전 센서는 USB 인터페이스를 지원하는 30만화소급 CMOS 카메라인 HVR-2030CA와 이미지 처리 및 팔레트 위치추정을 위한 1대의 노트북 PC로 구성하였다. 노트북 PC에서는 측정된 팔레트의 상대위치 및 상대각도를 전역위치센서가 사용하는 좌표계로 변환하여 CAN 네트워크로 송신하게 된다. 전역위치센서는 SICK사에서 실내 위치 인식을 위해 개발한 레이저 측정시스템인 NAV200을 사용하였다. NAV200은 레이저를 360° 회전시키면서 미리 설치된 리플렉터들의 위치를 파악하고, 이를 토대로 자신의 위치와 방향을 측정한다. 일반적으로 20m~30m의 영역에서 최소 4mm 및 0.1° 이내의 정밀한 측정을 보장한다.

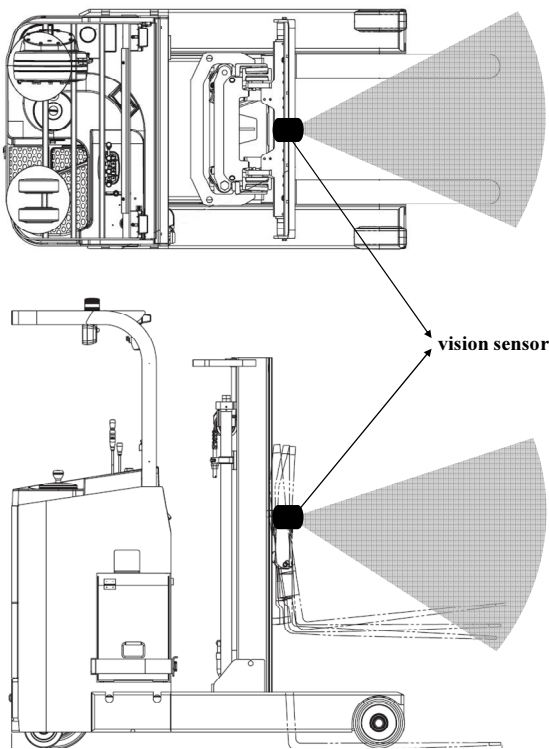


그림 4. 비전 센서의 설치 위치.
Fig. 4. Installation position of vision sensor.

이와 함께, 포크의 상태를 파악하기 위해 높이 센서(height sensor), 압력센서(pressure sensor), 기울기 센서(tilt sensor), 적외선 거리 센서(distance sensor)를 사용하였다. 높이 센서로는 0~7.5m까지 측정 가능한 Celesco사의 장거리용 와이어식 변위 센서인 PT9510를 사용하였고, 화물의 무게를 판단하기 위한 유압 압력 센서로는 Honeywell사의 MLH250BSH14A를 사용하였다. 또한, 적재시의 팔레트와의 거리를 측정하기 위해 SHARP사의 적외선 거리 측정 센서인 GP2D120을 사용하였다.

그림 5는 무인지게차에 자율 적재 및 하역 기능을 구현하기 위해서 설계한 주 제어기의 상태도를 나타내고 있으며, 표 1은 상태도에서 사용한 메시지의 상세 내역을 나타내고

표 1. 무인지게차의 자율적재를 위해 설계한 메시지.

Table 1. Message table for autonomous loading and unloading.

CAN ID	Period (msec)	Length [bit]	Signal
msg _L	-	56	Load/Unload status
			target pallet_x_position
			target pallet_y_position
			target pallet_θ_position
msg _U	-	56	Load/Unload status
			target pallet_x_position
			target pallet_y_position
			target pallet_θ_position
msg _T	100	16	target velocity
		32	target steer_angle
		16	target fork_height
msg _F	100	8	current forklift_position_type
		32	current forklift_position_data
msg _V	-	16	vision_start
msg _P	-	16	vision_pallet_x_position
		16	vision_pallet_y_position
		16	vision_pallet_z_position
		16	vision_pallet_θ

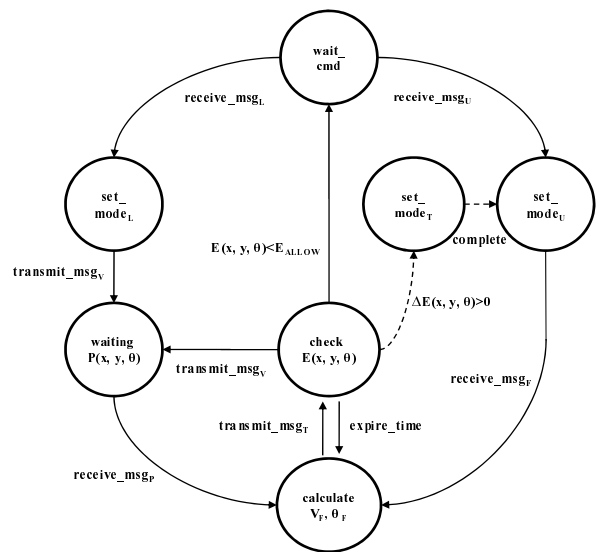


그림 5. 자율적재를 위한 주 제어기의 상태도.
Fig. 5. State diagram of autonomous loading and unloading.

있다. 주 제어기의 상태도는 무인지게차의 제어에 따라서 몇 가지 모드로 구분되며, 본 논문에서는 적재 및 하역 작업에 대한 부분만 표현하였다. 그림에서 무인지게차가 팔레트를 적재하거나 하역하기 위해서 지정된 위치에 도착하면, 제일 먼저 중앙 통제 센터로부터의 지령을 기다리는 ‘wait_cmd (지령 대기)’ 상태로 진입한다. 기본적으로 중앙 통제 센터의 지령에 따라 제어되는 무인지게차는 하나의 태스크가 끝나면 항상 ‘wait_cmd (지령 대기)’ 상태로 천이하여 다음 지령을 기다린다. 적재와 하역작업을 수행하기 위한 최초의 팔레트 적재위치와 하역위치는 ‘wait_cmd (지령 대기)’ 상태에서 중앙 통제 센터에서 지령을 받을 때, 수신된다. 이때 네트워크를 통해서 수신된 다음 지령에 따라서 상태도는 2가지 모드로 구분된다.

먼저 네트워크를 통해서 ‘receive_msg_L (메시지 수신)’ 상태에서 팔레트 적재 지령을 수신하면 주 제어기는 ‘set_mode_L (모드 변경)’ 상태로 천이하여 자신의 제어모드를 적재모드로 변경한다. ‘set_mode_L (모드 변경)’ 상태에서는 적재작업을 수행하기 위해서 필요한 센서들을 초기화하고, 비전센서에 정보를 요청하기 위한 메시지를 네트워크를 통해 전송(‘transmit_msg_V (메시지 전송)’한다. 이후 주 제어기는 ‘wait P(x, y, θ)(팔레트 위치 수신)’ 상태로 진입하여 팔레트 정보를 기다리게 된다. 이때, 비전센서모듈로부터 팔레트 위치정보를 수신(‘receive_msg_P (메시지 수신)’ 하면, ‘calculate V_F, θ_F (차속 및 조향각 계산)’ 상태로 천이하여 팔레트 홀에 포크를 삽입하기 위해 필요한 지게차의 V_F(차속)과 θ_F(조향각)을 계산한다. 계산이 완료되면, 차속과 조향각을 네트워크를 통해 전송(‘transmit_msg_T (메시지 전송)’하고, ‘check E(x, y, θ) (에러 확인)’ 상태로 천이된다. ‘check E(x, y, θ)(에러 확인)’ 상태에서는 일정한 제어주기(‘expire_time(시간 초과)’마다 오차를 측정하여 차속과 조향각에 대한 제어값을 갱신하고, 그 결과를 네트워크로 전송한다. 이때, 지게차가 포크를 삽입할 수 있는 위치와 각도에 도착(‘E(x, y, θ) < E_{ALLOW}’)하면 ‘wait_cmd (지령 대기)’ 상태로 천이하여 다음 지령을 기다리게 된다. 만약, 지게차의 위치가 포크를 삽입할 수 있는 오차의 허용값을 초과하면 팔레트 위치의 재 측정을 요청하는 메시지를 전송(‘transmit_msg_V (메시지 전송)’한다.

다음으로 ‘wait_cmd (지령 대기)’ 상태에서 네트워크를 통해 팔레트 하역지령(‘receive_msg_U (메시지 수신)’을 받으면 주 제어기는 ‘set_mode_U (모드 변경)’ 상태로 천이하여 제어모드를 하역모드로 변경한다. 하역모드에서는 앞에서 기술한 것과 같이 하역만을 위한 별도의 센서는 사용하지 않고, 전역 위치센서의 정보만을 이용한다. 따라서 ‘set_mode_U (모드 변경)’ 상태에서 지게차의 현재위치를 수신(‘receive_msg_F (메시지 수신)’하면, ‘calculate V_F, θ_F (차속, 조향각 계산)’ 상태로 천이하여 수신된 팔레트 하역위치와 현재위치를 비교하여 적합한 차속(V_F)과 조향각(θ_F)을 계산한다. 이후, 지게차를 제어하기 위한 주 제어기의 상태천이는 적재과정과 동일하다. 다만, ‘E(x, y, θ)’ 상태에서 계속된 제어에도 불구하고 오차가 점차 증가(‘ΔE(x, y, θ)>0’)하면, 하역이 불가능하다고 판단하고 주행모드인 ‘set_mode_T (모드 변경)’ 상태로 천이하여 지게차를 초기위치로 이동시켜서 다시 하역작업을 시작한다.

IV. 무인 지게차의 자율적재 성능 평가

본 절에서는 선행 연구를 통해 개발된 무인 자율 주행 지게차를 이용하여, 자율 적재 기술을 구현하고 성능을 평가하였다. 성능 평가에 사용된 지게차는 CLARK사의 실내용 전동식 지게차인 CRX-10 모델이다. 전동식 지게차는 4.2kW의 AC 모터를 주행 모터로 사용하는 1.0톤급 전동식 지게차로 8.3kW의 유압 모터와 0.15kW의 조향 모터를 함께 사용하고 있다. 지게차 하부에는 전방 양쪽으로 캐스터(caster) 휠 2개와 후방 오른쪽 캐스터 휠 1개, 후방 왼쪽 메인 휠(main wheel) 1개로 구성된 4개의 바퀴가 설치되어 있다. 무 부하시 지게차의 최대 주행속도는 9.8Km/h이며, 안전을 고려한 권장 주행속도는 5.0km/h이다[15].

그림 6은 주 제어 모듈에서 사용된 자율 적재 제어 알고리즘을 나타내고 있다. 무인지게차는 중앙 통제 센터로부터 적재해야 할 팔레트의 위치 정보(P_{pallet}(x, y, z, θ))를 수신하면, 목적지 좌표를 팔레트 중심에서 1.5m앞으로 설정하여 비전 센서와 팔레트 중심간의 오차(P_{error}(x))가 10cm 이내로 들어올 때까지 주행 제어를 시작한다. 무인지게차가 목적지에 도착하면 팔레트를 인식하기 위해서 포크의 높이를 P_{pallet}(z)로 제어하고, 팔레트 측정을 시작한다. 이때, 비전 센서를 통해서 팔레트의 정확한 위치가 측정되면 중앙 통제 센터에서 수신된 팔레트의 위치정보를 비전센서의 정보로 갱신한다. 각도 제어는 팔레트와 지게차의 각도 오차가 ±1° 이내가 될 때까지 제자리에서 회전하며 계속된다. 이후, 지게차는 조향각을

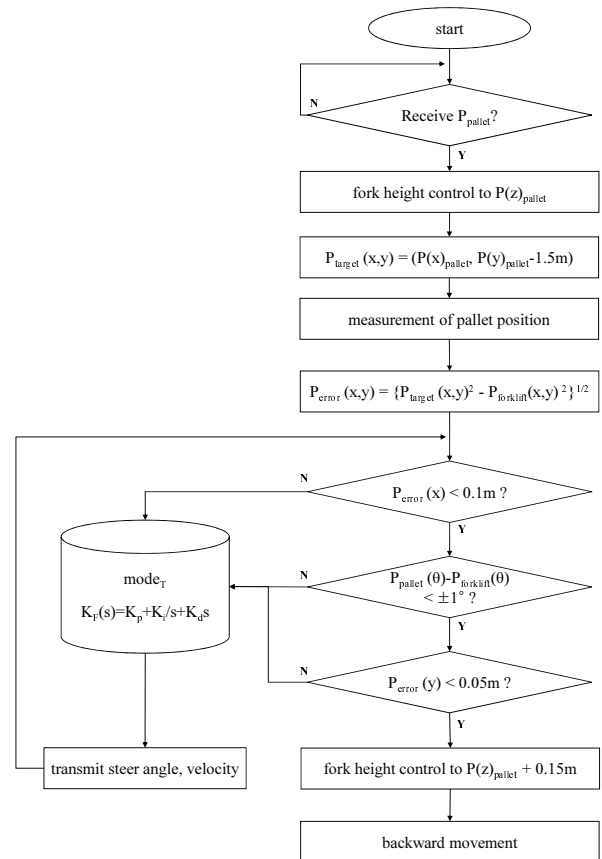


그림 6. 자율 적재 알고리즘의 흐름도.

Fig. 6. Flowchart of autonomous loading and unloading.

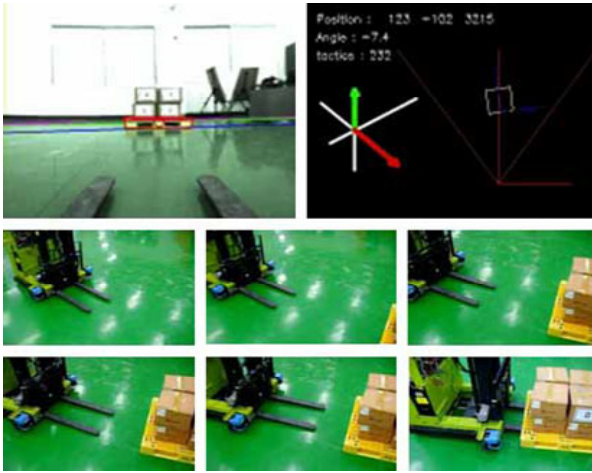


그림 7. 비전센서를 이용한 팔레트 인식 및 실험사진.
Fig. 7. Picture of experiment.

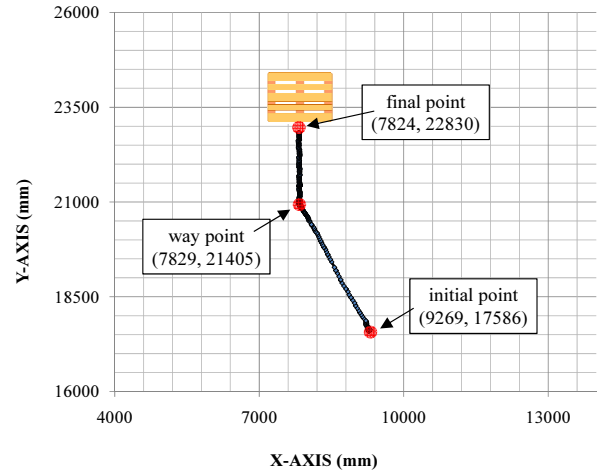
0°로 유지시킨 상태로 팔레트와 포크캐리지가 5cm 이내로 근접할 때까지 전진하여 포크를 팔레트 홈에 삽입한다. 포크의 삽입이 완료되면 포크캐리지를 15cm 상향 제어하여 팔레트를 랙에서 분리한 후, 후진함으로써 적재작업을 완료한다. 하역시의 과정은 비전 센서를 이용한 팔레트의 위치 정보 갱신을 제외하고는 위에서 설명한 단계와 동일하게 이루어진다. 적재와 하역 과정에서 정상 상태 오차를 줄이기 위해서 PID 제어기를 이용하여 주행 속도와 조향 각도를 조절하였으며, 실험에서 사용된 PID 제어기는 시행착오를 거쳐 다음과 같이 설정하였다.

$$G_{T-PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{4s^2 + 0.035s + 0.0005}{s} \quad (1)$$

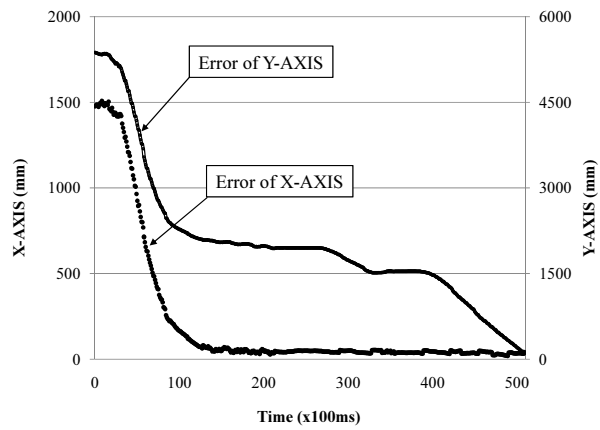
$$G_{S-PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{12.5s^2 + 1.075s + 0.025}{s}$$

그림 7은 비전센서를 이용하여 팔레트를 인식하는 화면과 무인 지게차가 팔레트를 적재하는 과정을 사진으로 나타낸 것이다. 그림에서 위 부분에 있는 2개의 사진은 무인지게차에 설치된 비전센서가 팔레트를 인식한 영상을 나타낸 것이다. II 장에서 설명한 것과 같이 비전 센서가 팔레트를 인식하면, 팔레트 아래와 윗면의 경계선을 이용하여 상대 위치 및 상대 각도를 측정한다. 아래의 6장의 그림은 순서대로 지게차가 포크를 팔레트 홈에 삽입하는 모습을 연속적으로 촬영한 것이다. 대각선 방향에서 팔레트로 진입한 지게차는 팔레트 앞 1.5m 지점에서 정지한 후 자율 적재 제어 알고리즘을 수행한다.

그림 8(a)에 나타난 실험 결과는 무인 지게차의 실제 이동 경로를 좌표로 표현한 것으로 그래프에서 사용한 X축과 Y축 단위는 mm이다. 실험에서 무인지게차의 위치는 미리 설치되어 있는 전역위치센서인 NAV200을 이용하여 측정하였다. 또한 실험에서 무인 지게차는 자율 주행을 통해 팔레트를 적재하기 위한 목적지에 도착했다고 가정하였다. 제어모드를 적재모드로 변경하여 자율적재를 시작하는 시작점 좌표와 팔레트가 놓여진 목적지 좌표는 각각 (9269, 17586)와 (7855, 22960)이었다. 이와 함께 팔레트 인식을 위해 비전센서를 사



(a) Result of forklift position during experiment.



(b) Result of position error during experiment.

그림 8. 자율 적재 시 무인지게차의 경로와 위치오차.

Fig. 8. Experimental result of autonomous loading and unloading.

용하는 경유지 좌표는 팔레트의 중심에서 Y축 방향으로 1,500mm 떨어진 (7855, 21460)으로 설정하였다. 그림 8(a)에서 나타난 것과 같이 자율 적재 알고리즘의 구동과 함께 지게차는 팔레트를 감지하기 위한 위치인 경유지 좌표로 이동하였고, 이 때의 위치는 (7829, 21405)로 측정되었다. 무인지게차가 경유지 좌표에 도착하면 무인지게차는 상대각도를 맞추기 위해서 제자리에서 회전을 시작하며, 각도가 ±1° 이내로 제어되면 정지한다. 마지막으로 포크 캐리지에 설치된 적외선센서로 팔레트까지의 거리를 측정하면서 최종 목표지점으로 이동한다. 실험에서 무인지게차가 팔레트 적재를 시작한 최종 목표지점에서 측정된 위치는 (7824, 22830)이었다. 실제로 비전센서와 포크 끝까지의 거리가 약 90cm임을 감안하면, 포크의 삽입은 경유지 좌표에서 60cm이후부터 시작된다.

그림 8(b)는 앞에서 설명한 그림 8(a)의 실험 과정에서 발생한 팔레트와 무인지게차의 위치 오차를 그래프로 표현한 것이다. 그래프에서 나타난 것과 같이 최초의 x축 오차는 약 1.45m였으며, y축 오차는 약 5.24m였다. 그래프에서 무인지게차가 적재모드로 진입한 이후, 초기 10초 동안 x축 오차가 10cm이내로 제어되는 것을 확인할 수 있다. 이때, y축 오차도 같이 감소하여 점차 팔레트에 접근하게 되며, 이후 팔레트와 무인지게차의 각도를 조정하는 동안 y축 오차의 감소율이

문화되는 것을 확인할 수 있다. 상대각도의 제어가 완료되면, 마지막으로 y축 오차를 제어하면서 무인지게차의 포크를 팔레트 홀에 삽입한다. 그래프에서 적재가 완료된 시점의 오차는 x축 31mm, y축 130mm로 평가되었다.

V. 요약 및 결론

본 논문에서는 선행 연구를 통해 개발된 무인 자율주행 지게차의 적재 및 하역 기능을 구현하기 위하여 단일 비전 센서를 사용한 팔레트 자율 적재 기술을 제안하였다. 이를 위하여, 비전 센서를 이용한 팔레트 인식 및 위치 측정 방법에 대해 설명하였으며, 이를 이용한 자율 적재 기술을 설계하였다. 마지막으로, 무인지게차의 자율 적재 기능의 성능을 평가하기 위하여, 실험 모델을 제작하고 자율 적재 실험을 수행하였다. 이러한 과정을 통하여 얻어낸 결론은 다음과 같다.

1) 기존의 창고와 같이 비 정형화된 환경에서는 여러 환경적인 요인에 의해 별도의 팔레트 위치 측정을 위한 센서가 필요하다. 본 논문에서는 하나의 비전 센서를 이용하여 무인지게차의 자율 적재 기술을 설계하고 성능을 평가하였다. 자율 적재 성능 평가 결과에 의해 비전 센서가 팔레트 위치 측정에 효과적으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

2) 선행 연구를 통해 제안된 분산 제어 시스템 구조를 가지는 무인 자율 주행 지게차에서는 각 기능들이 모듈화되어 독립적으로 동작된다. 따라서 이미지 프로세싱이나 지능 제어 알고리즘을 여러 개의 마이크로컨트롤러로 분산시켜 구현함으로써 주 제어기의 연산량을 줄여줄 수 있다. 또한, 센서나 액추에이터, 제어기 등을 손쉽게 확장할 수 있으며, 시스템구성을 변경하지 않고 제어알고리즘을 수정할 수 있는 장점이 있다.

그러나 본 논문에서는 제안된 네트워크 기반 자율적재 기술의 가능성을 확인하기 위하여, 휴리스틱한 적재 알고리즘과 주행 알고리즘을 이용한 자율 적재 기술의 성능만을 평가하였다. 따라서 보다 실용적인 연구 결과를 도출하기 위해 보다 더 효과적인 알고리즘 등을 개발할 필요가 있다. 마지막으로, 시스템의 안정성을 보장하기 위해서 시스템의 상태 진단 절차와 fail-safe 기능에 대한 연구가 추가적으로 요구된다.

참고문헌

- [1] M. P. Groover, *Automation, Production, Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, 3rd Ed.*, Prentice Hall, 2007.
- [2] Y. S. Park, J. H. Park, J. W. Lee, and S. W. Kim, "Vision-based AGV parking system," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 15, no. 5, pp. 473-479, May 2009.
- [3] T. A. Tamba, B. H. Hong, and K. S. Hong, "A path following control of an unmanned autonomous forklift," *International Journal of Control, Automation, and Systems*, vol. 7, no. 2, pp. 113-122, Feb. 2009.
- [4] B. Toughton, T. Galluzzo, D. Kent, and C. Crane, "Perception and planning architecture for autonomous ground vehicles," *Computer*, vol. 39, no. 12, pp. 40-47, Dec. 2006.
- [5] H. C. Moon, H. J. Woo, and J. H. Kim, "Development of system architecture and communication protocol for unmanned ground vehicle," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*,

vol. 14, no. 9, pp. 873-880, Sep. 2008.

- [6] T. Berglund, A. Brodnik, H. Jonsson, M. Staffanson, and I. Soderkvist, "Planning smooth and obstacle-avoiding B-spline paths for autonomous mining vehicles," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 167-172, Jan. 2010.
- [7] S. K. Gehrig and F. J. Stein, "Collision avoidance for vehicle-following systems," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 233-244, June 2007.
- [8] S. Rezaei and R. Sengupta, "Kalman filter-based integration of DGPS and vehicle sensors for localization," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 15, no. 6, pp. 1080-1088, Nov. 2007.
- [9] D. Lecking, O. Wulf, and B. Wagner, "Variable pallet pick-up for automatic guided vehicles in industrial environments," *IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation 2006*, pp. 1169-1174, Sep. 2006.
- [10] Y. H. Song, J. H. Park, G. C. Lee, and S. Lee, "Network-based distributed approach for implementation of an unmanned autonomous forklift," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 9, pp. 898-904, Sep. 2010.
- [11] S. M. Byun and M. H. Kim, "Real-time positioning and orienting of pallets based on monocular vision," *2008. 20th IEEE International Conference of Tools with Artificial Intelligence*, pp. 505-508, Nov. 2008.
- [12] S. M. Byun and M. H. Kim, "Enhancement of the pallet positioning method based on monocular vision," *The 2007 Fall Conference of Korea Multimedia Society*, pp. 820-823, Nov. 2007.
- [13] M. Seelinger and J. D. Yoder, "Automatic pallet engagement by a vision guided forklift," *Proc. of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4068-4073, Apr. 2005.
- [14] S. M. Byun and M. H. Kim, "Pallet measurement method for automatic pallet engaging in real-time," *Journal of Korea Multimedia Society (in Korean)*, vol. 14, no. 2, pp. 171-181, Feb. 2011.
- [15] CLARK Material Handling Asia, CRX 10-25 User Manual, 2006.



박지훈

2004년 부산대학교 기계공학부 졸업. 2004년~현재 부산대학교 대학원 지능 기계공학과 석·박사통합과정 재학 중. 관심분야는 네트워크 기반 분산시스템, CAN, FlexRay 기반 차량용 네트워크, Embedded 제어 시스템.



김민환

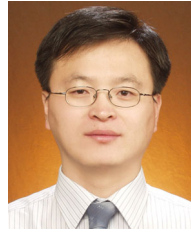
1980년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년, 1988년 서울대학교 대학원 석사 및 박사. 1986년~현재 부산대학교 정보 컴퓨터공학부 교수. 관심분야는 컴퓨터 시각, 영상처리 및 인식, 칼라 공학.



이석

1984년 서울대학교 기계공학과 졸업.
1985년 펜실바니아 주립대학교 석사.
1990년 동 대학원 박사. 1990년~1993년
신시내티 대학교 기계공학과 조교수.
1993년~현재 부산대학교 기계공학부 교
수. 관심분야는 산업용 네트워크, 차량

용 네트워크, 홈 네트워크, 센서 네트워크.



이경창

1996년 부산대학교 생산기계공학과 졸
업. 1998년 동 대학원 석사. 2003년 동
대학원 박사. 1998년~2003년 기계공학연
구정보센터 전임연구원. 2003년~2005년
울산대학교 네트워크기반 자동화 연구
센터 전임연구원. 2005년~현재 부경대학

교 전기제어공학부 부교수. 관심분야는 산업용 네트워크, 차
량용 네트워크, 홈 네트워크, 센서 네트워크.