

무인 자율주행 지게차를 위한 CAN 네트워크 기반 FUZZY 제어기의 설계

Design of Fuzzy controller based on CAN network for Unmanned Autonomous Forklift

*이주경¹, 이상협¹, 이경창², #이석¹

*J. K. Lee¹, S. H. Lee¹, K. C. Lee², #S. Lee(slee@pnu.edu)¹

¹ 부산대학교 기계공학부, ² 부경대학교 제어계측공학과

Key words : autonomous control, unmanned autonomous forklift, embedded control system, fuzzy control, CAN

1. 서론

제조 설비나 자동 창고에서 선반(rack)에 있는 물자를 적재하고 운반하는 데 사용되는 지게차(forklift)나 운반 차량은 물류 시스템에 있어서 중요한 요소 중의 하나이다. 수십 년 동안 물류 시스템의 생산성을 향상시키기 위하여, 지게차나 운반 차량의 무인화에 대한 연구와 개발이 지속적으로 진행되어 왔다. 가장 대표적인 형태인 무인 팔레트 트럭(automated pallet truck)은 팔레트를 적재할 때는 운전자에 의하여 조정되고, 이동할 때는 바닥에 설치된 바닥 유도선(embedded guide wire)나 페인트 띠(paint strip) 등을 따라 정해진 경로를 따라 자동으로 움직인다.¹

무인 지게차와 같은 무인 운반 차량(automated guided vehicle)을 구현하기 위해서는 차량의 주행 및 조향 제어, 차량의 위치 인식, 환경 인식, 장애물 감지 및 회피, 작업 할당, 경로 계획, 팔레트 인식 등과 같은 다양한 요소 기술들이 필요하다.² 주로, 이러한 요소 기술은 응용 분야에서의 필요성에 따라 독립적이거나 통합된 주제로 연구되어 왔으며, 다수의 실용적인 연구 성과들이 제안되었다.³

그러나, 최근 들어 보다 더 지능적인 무인 운반 차량을 개발하기 위하여 보다 더 많은 요소 기술들이 필요하게 되었으며, 시스템 레벨에서 수 많은 요소 기술들의 통합이 필요하게 되었다. 일반적으로, 이러한 요소 기술들의 통합은 매우 어려운 작업으로 알려져 있으며, 다양한 문제를 일으키는 것으로 알려져 있다. 예로, 무인 운반 차량의 고속 고정밀 제어를 위하여 보다 더 복잡한 자율 주행 알고리즘이나 환경 인식 알고리즘을 사용하게 되면, 연산량이 기하급수적으로 증가하게 된다. 이로 인하여, 알고리즘들을 처리하는 프로세스의 용량이 점점 더 크게 될 뿐만 아니라, 하나의 프로세스로는 처리하지 못하는 상황이 올 수도 있다. 또한, 센서나 액츄에이터, 제어기와 같은 전자 장치(electronic device)의 사용이 점차 증가하게 되면 장치를 연결하기 위한 내부 배선도 함께 증가하게 된다. 이러한 배선의 증가는 시스템을 더욱 복잡하게 만들어 요소 기술의 통합을 더욱 어렵게 만들 뿐만 아니라, 시스템의 확장을 더욱 어렵게 만든다.

본 논문에서는 무인 자율 주행 지게차에서 요소 기술 통합의 복잡성과 배선의 증가 문제를 해결하기 위한 방법으로서, CAN 네트워크 기반 FUZZY 제어 시스템을 이용한 무인 자율 주행 지게차에 대하여 제안한다.

2. 무인 자율주행 지게차를 위한 CAN 네트워크 기반 FUZZY 제어 시스템

1. 무인 자율 주행 지게차를 위한 요소 기술

무인 자율 주행 지게차를 위해서는 다양한 요소 기술들이 필요하다.⁴ 첫째, 가장 기초적인 요소 기술 중의 하나는 지게차의 위치 인식(location aware) 기술이다. 위치 인식 시스템으로부터 생성된 지게차의 좌표(position)와 방향(orientation)은 경로계획(path planning)이나 경로 추종 제어(path following control)을 위한 기초 자료가 된다.

둘째, 장애물 감지나 포크 제어 등을 위하여 레이저 스캐너(laser range finder), 초음파 센서(ultrasonic sensor), 포크 위치 센서(fork height sensor) 등과 같은 센서의 입력을 위한 센싱(sensing) 기술이 필요하다. 셋째, 보다 더 지능적인 장애물 감지나 포크 제어를 위하여 비전(vision) 기술이 필요할 수도 있다. 넷째, 지게차가 원활하게 움직이기 위해서는 맵 생성(map building)과 경로 계획(path planning) 기술이 필요하며, 원활한 작업을 위하여 작업 할당(task allocation) 기술이 필요하다. 이러한 기능들은 지게차의 외부에 구성되기도 하고, 지게차들간의 정보 교환에 의하여 이루어지기도 한다. 또한, 이러한 정보 교환을 위하여 무선 통신(wireless communication) 기술이 요구된다. 다섯째, 지게차의 가장 중요한 기술은 경로 추종 제어나 장애물 회피 제어(obstacle avoidance control), 포크 적재/하역 제어(fork loading/unloading control)이다. 이러한 기술에는 원하는 기능이 수행될 수 있도록 센서로부터 수집된 정보를 이용하여 모터 제어 시스템을 동작시키는 기능이 포함된다. 마지막으로, 지게차는 내부에 설치된 모터나 유공압 장치와 같은 액츄에이터에 의하여 움직인다. 적절한 제어 알고리즘을 가진 제어기는 주어진 명령을 만족시킬 수 있도록 액츄에이터를 제어한다.

2. CAN 네트워크 기반 FUZZY 제어 시스템의 구조

네트워크 기반 FUZZY 제어 시스템이 적용된 무인 자율 주행 지게차를 개발하기 위하여 사용된 지게차 모델은 CLARK사의 입식 전동식 지게차인 CRX-10 모델이다. 전동식 지게차는 4.2KW의 AC 모터를 주행 모터로, 사용하는 1.0톤급 전동식 지게차로 8.3KW의 유압 모터, 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 있으며, 무 부하 시 지게차의 최대 주행 속도는 9.8Km/h 이다.

무인 자율 주행 지게차를 구현하기 위하여 주 제어 모듈에는 Freescale사의 16비트급 MCU인 MC9S12XF512가 사용되었으며, 지게차의 전역 위치를 측정하기 위하여 SICK사의 레이저 기반 위치 인식 시스템인 NAV200가 사용되었다. NAV200은 작업 영역에 설치되어 있는 리플렉터(reflector)와의 거리 값을 삼각 측정하여 현재 위치와 방향 정보를 계산할 수 있으며, 20m~30m의 영역에서 최소 4mm 및 0.1° 이내의 측정 오차를 가진다. 그리고, 지게차의 전역 위치를 보정하기 위하여 최대 300°/s의 각속도를 측정할 수 있는 myGyro300SPI 자이로 센서를 사용하였다. 둘째, 주행 제어 모듈에는 ATmel사의 8비트급 MCU인 AT90CAN128이 사용되었으며, 주행 속도의 피드백을 위하여 기존 지게차에 실장되어 있는 홀 타입(hall type) 엔코더가 사용되었다. 셋째, 조향 제어 모듈에는 AT90CAN128이 사용되었으며, 조향 각도의 피드백을 위하여 가변 저항이 조향 모터 기어에 설치되었다. 넷째, 포크 제어 모듈은 포크의 현재 위치를 측정하기 위한 높이 센서(height

sensor), 압력 센서(pressure sensor), 기울기 센서(tilt sensor), 거리 센서(distance sensor)와 포크 제어를 위한 AT90CAN128 MCU로 구성되었다. 높이 센서로는 0~7.5m까지 측정 가능한 Celesco사의 장거리 리용 와이어식 변위 센서인 PT9510가 사용되었고, 화물의 무게를 판단하기 위한 유압 압력 센서로는 Honeywell사의 유량 센서가 사용되었다. 다섯째, 팔레트 감지 모듈에는 USB 인터페이스를 지원하는 HVR-2030CA 30만화소급 CMOS 싱글 카메라와 이미지 프로세싱을 담당하는 노트북이 사용되었다. 마지막으로 장애물 감지 모듈은 감지 범위에 따라 2가지 형태로 구현되었다. 우선 7m 범위 내에 존재하는 장애물의 위치를 측정하기 위하여 SICK사의 레이저 거리 측정 센서인 LMS200이 사용되었다.

3. 무인 자율 주행 지게차의 제어기 설계

Fuzzy제어 시스템의 추론 과정을 위하여 몇 가지 실험을 수행하고 이를 무인 자율 주행 지게차에 적용하였다. Fuzzy 추론 시스템은 4단계 과정으로 구분된다. 첫 번째는 주어진 입력에 대한 각 규칙의 전부분 적합도를 구하는 과정으로 수동주행을 통한 좌표와 휠의 각도 변화량을 측정하여 확정치 입력에 대한 각 규칙의 적합도를 구하는 과정, 두 번째는 이전단계에서 구한 적합도를 기초로 각 규칙의 추론결과를 구하는 과정, 세 번째는 각 규칙의 추론결과로부터 최종적인 추론결과를 구하는 과정, 네 번째는 최대치법 비퍼지화를 통해 실수값을 얻는 과정이다.

무인 지게차의 주행 제어를 위하여 사용한 입력변수는 지게차의 거리와 각도, 출력변수는 휠의 각도와 속도로 정의 하였다. 소속 함수(membership function)는 측정된 구동결과의 값을 바탕으로 정의 하였다.

Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 무인자율주행 지게차의 Fuzzy 제어를 설계하기 위해 지게차의 이동경로를 도식적으로 나타낸 것이다. 그림에서 지게차의 초기위치를 P_s 로 나타내었으며, 목적 위치를 P_t , 주행상황에서의 지게차의 위치를 P_e 로 나타내었다. 정의된 퍼지룰은 경로로부터 떨어진 거리차와 목표 방향으로 부터의 각도차에 따라서 지게차의 휠을 제어하게 된다. 지게차의 방향과 목표점의 방향 사이의 오차가 적을 경우 휠의 각도를 적게 하여 정밀한 제어를 하고, 오차가 클 경우 휠의 $-30^\circ \sim +30^\circ$ 각도를 크게 하여 목표경로를 찾아가게 된다. 제어 각도 범위는 로서 이 구간을 벗어날 경우, 휠의 각도는 제어방향으로 최대크기로 제어하게 된다. 속도는 목표지점과의 거리차에 따라서 제어하게 된다.

지게차의 중심과 도착지점의 거리를 나타내면, 식(1)과 같이 계산 된다.

$$\ell = \sqrt{(X_e - X_s)^2 + (Y_e - Y_s)^2} \tag{1}$$

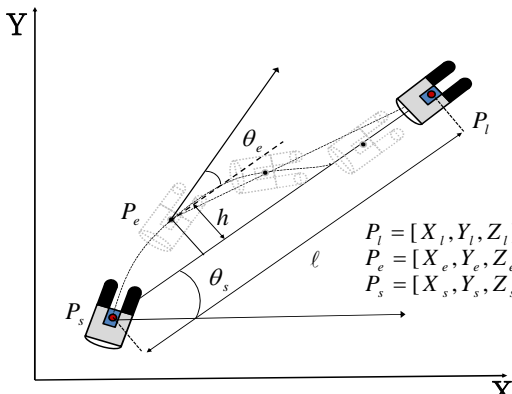


Fig. 1. Driving control for forklift

좌표각과 방향각은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_e = \text{angle}(\text{global}) - \theta_s$$

$$\theta_s = \arctan\left(\frac{Y_t - Y_s}{X_t - X_s}\right) \tag{2}$$

Table 1 Fuzzy rule table

h \ θ_e	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	ZO
NM	PB	PB	PM	PM	PM	ZO	NS
NS	PB	PM	PS	PS	ZO	NM	NM
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PS	PM	PM	ZO	NS	NS	NM	NB
PM	PS	ZO	NM	NM	NM	NB	NB
PB	ZO	NS	NM	NB	NB	NB	NB

지게차의 주행을 제어 하는 휠의 각도 변화량은 다음의 결과에 의해 Fuzzy rule이 적용된다.

$$l = \sqrt{(X_t - X_e)^2 + (Y_t - Y_e)^2}$$

$$h = l * \sin(\arctan\left(\frac{Y_t - Y_e}{X_t - X_e}\right) - \theta_s) \tag{3}$$

4. 결론

본 논문에서는 무인 자율 주행 지게차에서 요소 기술 통합의 복잡성과 배선의 증가 문제를 해결하기 위한 방법으로, CAN 네트워크 기반 Fuzzy 제어 시스템을 이용한 무인 자율 주행 지게차에 대하여 제안하였다. 이를 위하여, 무인 자율 주행 지게차에 요구되는 개별 요소 기술에 대해 설명하였으며, 기능별로 구분하여 네트워크 기반 Fuzzy 제어 시스템을 구성하였다.

그러나 본 논문에서는 제안된 CAN 네트워크 기반 Fuzzy 제어 시스템의 가능성을 확인하기 위하여, 간단한 Fuzzy rule 을 이용하여 무인 자율 주행 지게차의 제어를 설계하는데 초점을 맞추었다. 따라서, 보다 실제적인 연구결과를 도출하기 위해 제안된 제어를 탑재한 실제 지게차의 제작이 필요하다. 특히, 무인 자율 주행 지게차의 원활한 주행을 위하여 보다 더 효과적인 전역 경로 생성 및 추종 알고리즘의 개발이 필요하다.

후기

“이 논문은 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임”(지역거점연구단육성사업/차세대물류 IT 기술연구사업단)

참고문헌

1. M. P. Groover, *Automation, Production, Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, 3rd edition*, Prentice Hall, 2007.
2. 문희창, 우훈제, 김정하, "무인자율주행차량의 시스템 아키텍처 및 통신 프로토콜 설계," 제어 로봇 시스템공학 논문지, 제 14 권, 제 9 호, pp. 873-880, 2008.9.
3. 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..
4. B. Touchton, 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.