

적응 퍼지제어기를 이용한 분산 Multi Vehicle의 컬러인식을 통한 물체이송에 관한 연구

김 훈 모*
(2000년 8월 30일 접수)

A Study for Color Recognition and Material Delivery of Distributed Multi Vehicles Using Adaptive Fuzzy Controller

Hun Mo Kim

Key Words: Adaptive Fuzzy Controller(적응식 제어기), Intelligent Vehicle(지능형 Vehicle), Material Flow Automation(물류자동화), Distributed Control System(분산 제어시스템), Color Recognition(색상식별)

Abstract

In this paper, we present a collaborative method for material delivery using a distributed vehicle agents system. Generally used AGV(Autonomous Guided Vehicle) systems in FA require extraordinary facilities like guidepaths and landmarks and have numerous limitations for application in different environments. Moreover in the case of controlling multi vehicles, the necessity for developing corporation abilities like loading and unloading materials between vehicles including different types is increasing nowadays for automation of material flow. Thus to compensate and improve the functions of AGV, it is important to endow vehicles with the intelligence to recognize environments and goods and to determine the goal point to approach. In this study we propose an interaction method between hetero-type vehicles and adaptive fuzzy logic controllers for sensor-based path planning methods and material identifying methods which recognizes color. For the purpose of carrying materials to the goal, simple color sensor is used instead of intricate vision system to search for material and recognize its color in order to determine the goal point to transfer it to. The proposed method reveals a great deal of improvement on its performance.

1. 서론

자율주행 반송대차(AGV, Autonomous Guided Vehicle)를 이용한 공장 물류자동화 시스템에서 운반차의 이동경로를 설정하는 방법은 운반차에 대한 Guided path line 추종방식이 운반차의 경로 이탈 방지 및 작업 목표점간의 연결성을 높여 주는 이점이 있어 널리 사용된다. 그러나, 돌발장애물 또는 다른 차량과의 조우시에는 회피동작에

제약을 받게 되어 긴급운송이 어려워진다는 단점이 있다. 따라서, 추종 방식이 아닌 운반차의 자율 결정 능력에 의한 최적경로 주행을 위해서는 정확한 환경 인식 및 상황에 맞는 작업목표 설정 능력이 필요해진다. 또한 운반차가 여러대일 경우 각각의 차량의 위치정보를 통합하고 각기 최적의 작업이 가능하도록 분산제어⁽¹⁾할 수 있는 시스템을 구축해야 하고, 완벽한 물류 자동화를 위해서는 인력의 도움없이 운반차가 스스로 목표 물체에 대한 탐색 및 식별과 운반작업을 마칠 수 있어야 한다. 이를 위해서는 센서를 통해 장애물과 운반물체를 구별하고, 다른 운반차와 공조작업으로 협동할 수 있는 능력이 필요하다.

C. O'dunlaing⁽²⁾이 제안한 우선순위 Agent 경로

* 회원 : 성균관대학교 기계공학부
E-mail : kimhm@me.skku.ac.kr
TEL : (031)290-7450 FAX : (031)290-5849

생성법에 중앙집중식 비직결 제어방식이 적용되었다. 각각의 로봇에 순위를 부여하여 상대적 순위가 높은 로봇에 대해 우선 경로가 생성되고 저순위로봇은 감속 및 대기상태에 두게 된다. 그러나, 이동장애물에 대한 실시간 판별기능이 없기 때문에 환경상에 돌발장애물이 발생하면 시스템을 중지시켜야 하는 문제점이 있다. K. Naruse⁽³⁾는 연역적 결정 Tree를 통해 구성된 Rule Generation에 의해 분산 로봇 Agent에 대한 경로 계획법을 구상하였다. 이는 주행환경을 유한한 셀로 분할하여 각각의 로봇의 위치에서 진행가능한 모든 경우의 수를 고려하고, 로봇마다의 통신이 없이 센서를 통해 외부정보를 수집하는 것만으로 이동 경로를 결정하게 된다. 이는 작업장의 규모와 환경의 복잡도에 비례하여 경우의 수가 증가하므로 계산부하가 그만큼 커질 수밖에 없다. 또한 경로상에 있는 모든 물체를 장애물로 인식하게 되므로 별도의 표식이 없으면 로봇간의 상호인식이 어려워져 협동작업이 어렵다.

K. Ozaki와 H. Asama⁽⁴⁾등이 제안한 다중 로봇 협동체는 지식기반 시스템으로서 로봇간의 협동 및 통신을 통해 Data를 축적하여, 차후 임무수행에 활용하고, Zhi-Dong Wang⁽⁵⁾의 호스트에 의한 행동기반 로봇 시스템은 Host의 Vision 시스템 영상을 로봇에 전송하여 환경인식 및 협동작업을 이루게 한다. 전자의 경우는 Base의 구축에 많은 시간이 소요되고, 후자는 Vision을 얻을 수 있는 제한된 환경에서만 적용이 가능하다는 제약이 있다. Lynne E. Parker⁽⁶⁾가 제안한 Alliance Multi-Robot Cooperation System은 위험물질 발견 및 운반시 협동기능이 있는 행동기반 제어 시스템이다. 각개체가 자율수행능력을 가지지만, 중앙 감독기능이 없어, 다른 로봇의 환경정보 및 공동작업이 필요하다.

현재 시험운영되고 있는 물류이송 멀티로봇제어 운영시스템으로 대표적인 것은 R. Alami⁽⁷⁾ 등이 Rotterdam의 화물터미널에 적용 중인 MARTHA Project이다. Plan-Merging Operation이라는 알고리즘을 사용하여, 화물탐색 및 운송, 교차로에서의 주행우선순위 판단을 수행할 수 있다. 많은 Vehicle의 동작을 중앙제어감독하기에는 한계가 있어 자율기능을 강화시켜야 한다.

S. B. Marapane⁽⁸⁾ 등은 1대의 로봇을 주행시키고, 비전과 초음파센서가 부착된 다른 1대의 로봇을 퍼지제어기로 추종 주행시켰고, T. C. Lueth와 T. Laengle⁽⁹⁾은 Gripper가 부착된 소형 모빌로

봇 KHEPERA 2대를 투입하여 공동으로 필요부품을 운반하여 매니플레이터 탑재로봇에 이를 전달하여 조립품을 완성하는 과정을 구현하였다.

따라서, 본 논문에서는 통신의존도가 적고, 각 Agent가 자율적이지만 중앙감독이 이루어지고, 스스로 환경인식이 가능하며, 간단한 색상인식을 통해 물체를 식별하여 운반하며, 2가지 형태의 Vehicle이 연계하는 물류이송 시스템을 구현해 보려 한다. 특히 이송 물체의 인식을 위해 적응식 퍼지 알고리즘을 적용해 보고자 한다.

2. 배경 이론

2.1 Main Vehicle 기반의 다중제어

본 논문에서 구성하게 될 시스템은 Fig. 1과 같은 구조를 가지게 된다.

Vehicle의 구성은 물체의 수송을 담당하는 main vehicle과 물체의 탐색 및 재배치, 그리고 main vehicle에 물건을 싣고 내리는 sub vehicle로 이루어진다. 이 중 main vehicle agent는 소형 vehicle agent들과 연락을 취하고 물류 전달호출에 응하여 수송 및 이송 scheduling을 담당하는 핵심 agent로서, agent들의 작업수행과정을 간헐적으로 체크하는 main agent의 기능을 가진다. 그러나, 작업의 수행은 각 agent들의 자율하에 있으므로 분산 제어방식의 특성이 더 강하다. 결국 중앙 에이전트 기반 다중로봇 제어시스템(Central agent based multi-robot control system)으로 정의할 수 있다.

2.2 물체인식을 위한 Color 식별

2.2.1 Color 주파수 대역과 광도

에너지 파장중에서 인간의 눈으로 감지할 수 있는 가시광선은 파장대역이 약 380~700nm로 전체의 에너지파를 비교할 때 상당히 좁은 범위

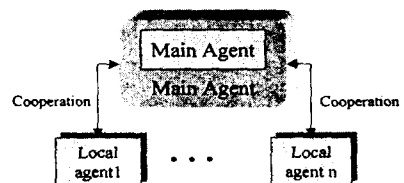


Fig. 1 Central agent based multi-vehicle control system

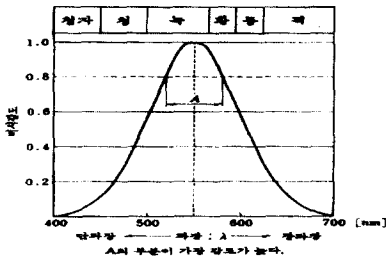


Fig. 2 Color Wavelength

이다. 파장이 작을수록 청색편향이고, 길어지면 적색편향이 된다. 즉 380nm 부근에서는 옥안으로 청자색을 띠고 있고, 700nm 부근은 적색이다. 이 중 시감도가 가장 좋은 파장은 550nm로서 녹색을 띠고 있어서 적은 빛으로도 쉽게 감별이 되고 외광에 영향을 적게 받는 색파장이다. (Fig. 2)

물체의 색은 파장에 따라 적, 등, 황, 녹색, 청, 남, 자색의 순으로 되어 있지만, 조사하는 광원에 따라 발생 파장이 달리 나타날 수 있다. 동일한 색도 백열등을 광원으로 할 때와 형광등을 광원으로 할 때가 각각 다르게 나타날 수 있는 것이다. 이를 색온도차에 의한 "파장변이"라고 하는데, 태양광이나 백열등, 할로겐등과 같이 자연광의 특성을 가지는 경우는 강한빛이 조사될수록 황색 편이특성을 가지고 있다. 즉, 황색의 근접색인 주황색이나, 연두색 등은 주변광원이 강할 때, 황색으로 편이되는 특징을 가지고 있는 것이다. 이에 대한 보정을 위해서는 주변광도를 측정하여 기준 광도에 대한 가시광의 파장을 가감하는 기법이 필요하다.

2.2.2 색감별 센싱기법

본 논문에서의 물체이송 vehicle은 동일한 크기의 소형 컬러 블럭을 판별하고 해당 목적지까지 이송하는 시스템으로서 물체식별을 위해 복잡한 영상처리기법을 사용할 필요없이 색상을 인식할 수 있는 컬러 포토센서를 사용하였고, R(Red), G(Green), B (Blue)를 분광할 수 있는 3개의 다이오드로, 수광시 기전력을 발생시키게 된다.⁽¹⁰⁾ R, G, B와 그 중간색등을 구별해 낼 수가 있다. (Fig. 3)

물체색상 감별에서의 문제는 물체와의 거리에 따라 색상인식이 달라질 수 있다는 것이므로 물

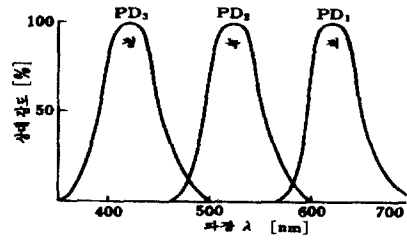


Fig. 3 Color distribution

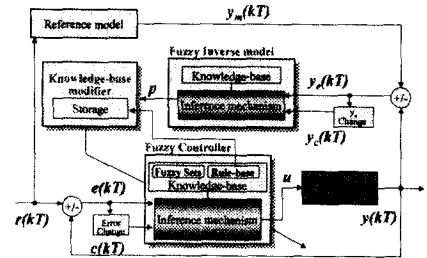


Fig. 4 Direct adaptive fuzzy model reference learning controller

체에 센서를 일정거리로 근접시킨 후 센싱하는 방법으로 해결할 수 있다. 또한, 주변광에 의한 색상의 오차도 발생하기 쉬우므로 검출광의 파장에 해당하는 색상을 주변광도에 따라 약간씩 조정하여 테이블로 저장해 둘 필요가 있다.

2.3 적응식 퍼지 제어기

예측불가능한 상황 또는 입력 변수에 영향을 주는 파라미터가 존재하는 경우에는 일반적인 퍼지제어기로는 해결하기 어려운 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 자체 보정기능이 있는 직접 적응식 퍼지제어기 (direct adaptive fuzzy controller)를 사용하기로 한다.

(1) 퍼지 모델 레퍼런스 학습 제어 (FMRLC)

직접 적응 퍼지제어기가 입력 조건에 상응하는 출력력을 제어할 수 있으려면 디자인된 모델에 대한 학습과정을 필요로 한다. 이를 퍼지 모델 레퍼런스 학습 제어(Fuzzy Model Reference Learning Control)라 한다. 제어기의 구조는 Fig. 4와 같다.

전체적인 학습제어과정은 제어전달함수에 의한 퍼지제어 출력 $u(kT)$ 를 입력받은 플랜트의 출력 $y(kT)$ 를 학습기에 입력후 레퍼런스 모델과 비교

Table 1 Adaptive fuzzy knowledge-base

error		E_i										
e/k	inds	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
C	-5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0
	-4	-1	-1	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2
	-3	-1	-1	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2
	-2	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6
	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8
	0	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
	1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1
	2	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1
	3	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1	1
	4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1	1	1
5	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1	1	1	1	

하여 출력오차 y_e 와 오차변화율 y_c 를 산정하는 퍼지 인버스 모델링 과정을 거치고, 이의 출력 $p(kT)$ 로 퍼지 제어기의 퍼지 집합과 룰 베이스를 수정하는 과정을 거친 후, 수정된 퍼지제어기로 에러 e 와 에러 변화율 c 를 입력받아 제어출력을 만들어 낸다.

여기서 사용된 에러와 에러변화율은 다음 식과 같다.

$$e(kT) = r(kT) - y(kT) \tag{1}$$

$$c(kT) = \frac{e(kT) - e(kT - T)}{T} \tag{2}$$

위 식에서 T 는 샘플링 시간간격이고, k 는 임의의 샘플링 횟수이다.

퍼지제어기의 퍼지 규칙 및 이를 튜닝하기 위한 퍼지인버스 모델의 퍼지규칙은 각각 (3), (4)와 같다.

$$\text{IF } \tilde{e} \text{ is } E_j \text{ AND } \tilde{c} \text{ is } C_l \text{ THEN } \tilde{u} \text{ is } U_m \tag{3}$$

$$\text{IF } \tilde{y}_e \text{ is } Y_{ej} \text{ AND } \tilde{y}_c \text{ is } Y_{cl} \text{ THEN } \tilde{p} \text{ is } P_m \tag{4}$$

E_j 와 C_l , Y_{ej} , Y_{cl} 은 소속함수 값을 나타내는 변수이고 j 와 l 은 소속함수 식별첨자이다.

(2) 퍼지 지식 베이스(Fuzzy Knowledge-Base)

퍼지 규칙 지식 베이스는 다음과 같다.(Table1)

아래의 table로부터 에러가 E-5, 에러변화율이 C-5 소속 함수에 속할 때에는 출력이 -1에 해당한다는 것을 알 수 있다. 따라서 출력 함수의 값은 최대의 양의 값을 보상하여 출력하게 된다. 또한 플랜트의 출력을 읽은후, 레퍼런스와의 비교 과정을 통해 계산된 출력 에러와 에러 변화율로 위의 지식 베이스를 수정하는 과정을 거치게 된다.

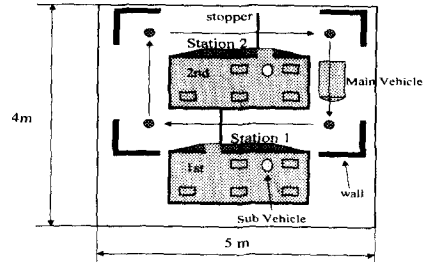


Fig. 5 Environment for material delivery

학습이 완전히 진행된 후 위 테이블의 초기 테이블과 최종 테이블을 비교하여 보면 발생 에러의 크기와 분포를 관찰해 볼 수 있다.

3. 전체 시스템 구성

3.1 Vehicle의 주행환경

주행 환경은 Fig. 5와 같이 2개의 Local Area가 설정되어 있고, 탐색 Vehicle이 1대씩 할당되어 Area 내부에서 활동할 수 있게 되어 있고, Local Area 외곽을 수송 Vehicle이 주행하며, 수송 Vehicle에 대한 물체의 적재 및 하역작업이 이루어지는 Docking Station이 Local Area마다 마련되어 있다.

운반물체는 4cm×4cm×5cm크기의 컬러 블록을 사용한다. Blue, Red, Green, Yellow, Violet 등의 색상을 가지는 것으로 준비한다. Local Area 내부에는 5개씩의 적하장을 가지며 각 적하장에는 컬러 외곽선을 마킹해 둔다.

3.2 Vehicle의 기구학적 모델링과 좌표인식

본 논문에서 고려하는 수송용 Main Vehicle은 상단부에 2개의 구동바퀴(Driving Wheel)와 하단부에 2개의 보조바퀴(Free Wheel)를 지닌 4바퀴 2자유도(4wheeled 2 DOF) 형태의 이동로봇이다. 구동바퀴는 두 개의 모터를 사용하였고 이들의 상대 속도를 제어하여 이동로봇을 구동한다.

이동로봇은 Fig. 6과 같이 $x-y$ 평면상에서 이동하므로 위치와 방향을 표시하려면 두 개의 위치변수 x, y 와 방향변수 θ 가 필요하다.

두 구동바퀴에 각각 인크리멘탈 인코더(Incremental Encoder)를 사용하므로 기준 좌표계로부터 몸체 좌표계까지의 상대 좌표로 이동로봇의 자세와 속도를 추정하는 추측항법(Dead

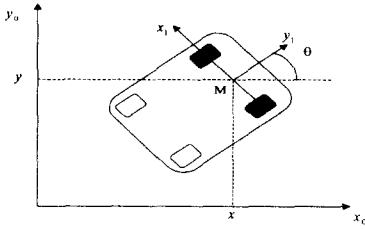


Fig. 6 Coordinates of main vehicle

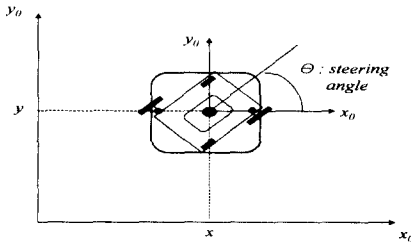


Fig. 7 Coordinates of sub vehicle

Reckoning)과정을 필요로 한다. 로봇의 선속도 v 와 회전속도 ω 는 식 (5)와 같다.

$$v = \frac{(\Delta_R + \Delta_L)}{2\delta}, \quad \omega = \frac{\Delta_\theta}{\delta} \quad (5)$$

여기서 Δ_R 과 Δ_L 은 샘플링주기(Sampling Period) 동안 좌우 바퀴의 주행거리이고 Δ_θ 는 샘플링주기 δ 동안 로봇의 방향변화이다. 임의시간에서 Vehicle 자세벡터의 각 성분은 다음과 같다.

$$\theta = \theta_{old} + \Delta_\theta \quad (6)$$

$$x = x_{old} + \frac{(\Delta_R + \Delta_L)}{2} \cos(\theta_{old} + \frac{\Delta_\theta}{2}) \quad (7)$$

$$y = y_{old} + \frac{(\Delta_R + \Delta_L)}{2} \sin(\theta_{old} + \frac{\Delta_\theta}{2}) \quad (8)$$

여기서 $(x_{old}, y_{old}, \theta_{old})$ 는 δ 시간 이전의 이동 로봇의 자세이다.

탐색 Sub Vehicle 시스템은 Fig. 7과 같이 중앙부에 2개의 구동륜(Driving Wheel)과 전후면에 각각 2개의 보조캐스터(Free Castor)를 지닌 4륜 2자유도(4 wheeled 2 DOF) 형태의 이동로봇이다.

구동바퀴는 동시에 동일한 각도로 조향되는 이

륜 동시구동 조향(Bi-wheel Synchro Drive & Steering)방식을 채용하였고, (x_o, y_o, z_o) 는 Vehicle의 절대위치를 지정하는 기준좌표계이고, 몸체 중앙에 몸체 좌표계 (x_1, y_1, z_1) 를 설정한다. 또한 Vehicle의 주행 특성상, 로봇의 자세각도 θ 의 변화 없이 모든 방향으로 주행이 가능하므로 위치결정을 위해 필요한 변수는 기준좌표계의 x, y 뿐이다. 구름볼에 연결된 인터럽터 샘플링주기(Sampling Period) δ 동안 각각의 인터럽터 펄스수를 Z_x, Z_y 라 한다. 또, P 를 인터럽터 축의 회전당 펄스수, R 을 구름볼의 지름이라 하면 이동중분은

$$\Delta x = 2\pi \cdot R \cdot \frac{Z_x}{P \cdot G} \quad (9)$$

$$\Delta y = 2\pi \cdot R \cdot \frac{Z_y}{P \cdot G} \quad (10)$$

와 같이 쓸 수 있고, x, y 의 좌표는 다음과 같다.

$$x = x_{old} + \Delta x, \quad y = y_{old} + \Delta y \quad (11)$$

또, δ 동안의 Vehicle의 이동거리는

$$\Delta l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (12)$$

와 같고, Vehicle의 주행속도는 다음과 같다.

$$v = \frac{\Delta l}{\delta} \quad (13)$$

4. 적응퍼지 제어기의 설정

본 논문에서는 속도와 조향각에 대해서는 퍼지제어기를 사용하였고 색상 인식을 위해 적응식 퍼지제어기를 적용시켜 보려 한다.

이를 위해서는 시스템의 전달함수를 필요로 한다. 칼라 센서 주파수 특성 선도를 관찰하면 6Hz에 절점이 존재함을 알 수 있다. 환산하면 37.7 rad/sec 에 절점이 존재하고 절점 이하에서는 -20 dB의 기울기를 가지고 있으므로, 적분요소를 포함하고 있음을 알 수 있다.

이를 통해 구한 Color 센서의 시스템 전달함수는

$$G(s) = \frac{k_p}{s^2 + \omega_c s} = \frac{k_p}{s^2 + 37.7s} \quad (14)$$

이고 여러 번의 tuning 결과 $k_p = 10^5$ 로 정할 수 있었다. 이 전달 함수를 통해 출력되는 제어신호와 비교할 레퍼런스 모델은 1차 시스템으로 선정한다. 여기서는 $G(s)$ 의 분모에서 적분요소를 제

외한 함수를 사용한다. 즉,

$$M(s) = \frac{k_p}{s + 37.7} \quad (15)$$

비교된 색상 인식 에러 e와 에러변화율 c를 입력변수로 사용하게 되고, 각각 11가지의 퍼지 집합을 가지게 되므로 총 121가지의 퍼지 제어규칙이 설정되고 이는 퍼지 지식베이스로 사용된다.(Table 1)

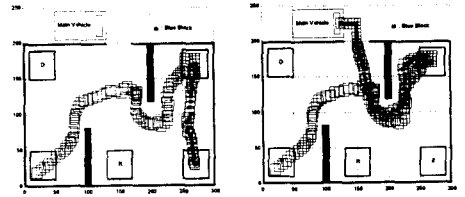
5. 결론 및 고찰

본 절에서는 탐색 sub vehicle의 자율주행 및 물체인식, 목적지로의 인식능력에 대한 테스트를 실시하였다. 기본적으로 Main vehicle이 local area에 도킹해 있는 것으로 보고, 발견물체에 대해 이송할 목적지를 결정하여 운반하는 시스템이다. Local area 내부에는 5개의 적하장이 설정되어 있으며, 각 적하장은 적색(g(5)), 황색(g(4)), 청색(g(3)), 자색(g(2)), 흑색(g(1))으로 구분하였다. Main vehicle의 목표점 표식은 g(0)로 한다. Sub vehicle은 기본적으로 local area의 적하장의 좌표와 해당색상을 알고 있다. 여기서의 탐색 경로는 1개의 목표점만을 설정하였고, 출발점에서 해당 목표점으로 이동하여 그 지역의 물체를 탐색하여 발견하면 파생목적지, 즉 수송목표점으로 운반하는 시뮬레이션이다. 주변 광도는 250 lux와 400 lux의 두가지 상태로 설정하였다. 여기서 블록색상의 파장은 광도에 따른 변이를 고려하여 250 lux에서 680nm, 400lux에서 720nm로 놓았다.

전체적인 결과는 장애물을 회피하여 이동목적지까지 가고 있음을 보인다. 적하장 외곽선 안으로 도달해서는 탐색을 위한 일정한 궤적을 그리다가 물체를 발견했음을 알 수 있다.

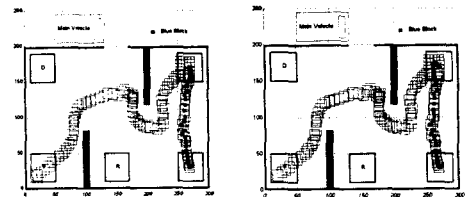
우선 일반 퍼지제어기를 컬러센서에 적용한 경우이다. 첫 번째 결과 Fig. 8(a)에서는 블록의 색을 청색으로 인식하여 청색적하장으로 운반하는 모습을 볼 수 있다. 따라서, 250 lux로 설정했을 때, 적절한 운반작업이 이루어졌다고 볼 수 있다.

두 번째 결과인 Fig. 8(b)를 보면, vehicle이 목적지에 도착하여 물체를 인식하여 운반이 이루어지고 있다. 그러나, 발견 블록을 main vehicle로 운반해 가고 있는데, 이는 밝은 주변광의 영향으로 sub vehicle이 물체를 녹색으로 오인식하여 물체의 색상에 맞는 운반 목표점이 local area 내부



(a) 250 Lux (b) 400 Lux

Fig. 8 Sub vehicle scanning block with fuzzy controller



(a) 250 Lux (b) 400 Lux

Fig. 9 Sub vehicle scanning block with adaptive fuzzy controller

에 없다고 판단했기 때문에 수송 vehicle을 통해 외부로 보내기 위함이다. 즉 400lux 설정시에는 적절한 이송이 이루어지지 않았다.

다음은 적응식 퍼지제어기를 적용했을 때의 결과이다. 250lux로 설정했을 때인 Fig. 9(a)를 보면 일반 퍼지제어기를 사용했을 때와 동일한 성능을 보여준다. 앞절에서 보인 바와 같이 색상 기준에 가까운 250lux에서는 두 제어기의 성능이 유사하다. 그러나, 400lux로 설정한 상태에서는 주변광에 대한 적응력이 없는 일반 퍼지제어기와 달리 변이된 광파장을 보상할 수 있는 적응 퍼지제어기의 성능이 우수해진다. Fig. 9(b)에서 물체를 인식한 초기에는 약간의 인식 지연 때문에 목적점의 설정이 불분명하여 이동 경로에 약간의 오차가 존재하지만, 곧 안정화된 인식으로 청색 블록의 목적점인 우측하단의 청색 적하장으로 이동한다. 결국 주변환경 조도의 영향으로 색상 판별에 영향을 받게됨에 따라 이에 대응능력이 있는 적응식 퍼지제어기를 적용하는 것이 필요하다. Table 2는 400Lux에서의 변형된 룰 베이의 결과를 보여준다.

Table 2 Adaptive Fuzzy Knowledge Base (Color Recognition Simulation. 400 lux)

	E (error)									
- After 7000 times learn										
C	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000
(error	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000	0.00000
change)	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-1.03624E-1	-1.013979	0.012282	0.00000	0.00000	0.00000
	-0.851270	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.594565	-1.614450	-0.208743	0.292547	0.00000	0.00000
	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.004414	-0.682332	0.800000	2.353824	0.278236	0.00000	0.00000
	-0.00000	-0.00000	-0.00000	0.065226	0.571945	2.430422	1.224611	0.00000	0.00000	0.039762
	-0.00000	-0.00000	-0.00000	0.451194	2.412508	3.635758	0.374402	0.00000	0.00000	0.134251
	-0.00000	-0.00000	0.00000	0.382544	1.066200	2.623545	0.00000	0.00000	0.00000	0.091285
	-0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

본 연구에서 물체의 칼라식별을 통한 물체이송 Vehicle에 대한 제어기법연구과정에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 시각적인 물체 식별방법의 하나로써, 색상 식별을 통한 물체인식 및 물체이송방법을 제시하였다.
- (2) 국소 지역에 분산된 멀티 에이전트 시스템을 운영하기 위한 방법으로 분산제어기법을 적용하여 효과적인 시스템 운영을 꾀하였다.
- (3) 물체의 색상식별을 위하여 적응식 퍼지 알고리즘을 적용하여 주변 조도에 영향을 받지 않는 알고리즘을 개발하고 그 성능을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

(1) Do-Yoon Kim, 1996, "On-Line Path Planning for Multiple Mobile Robots," MEE 953050, pp. 3~10.

(2) C.O'dunlaing, M.Sharir, and C.Yap, 1983, "Retraction : A new Approach to Motion Planning:, ACM Symp. Theory and Computing,"

pp. 207~220.

(3) Keitarou Naruse and Yukinori Kakazu, 1994, "Rule Generation by Inductive Decision Tree and Reinforcement Learning," *Distributed Autonomous Robotic Systems*, Vol. 1 Springer-Verlag Tokyo, pp. 91~95.

(4) K.Ozaki, H.Asama, H.Itakura, A.Matsumoto, Y.ishida and I.Endo, 1991, "Collision Avoidance among Multiple Mobile Robots Based on Rules and Communication," *Proc. of IEEE/RSJ Int. Workshop on IROS*, pp. 1215~1220.

(5) Zhi-Dong Wang, H.Asama, and A.Matsumoto, 1989, "Design of an Autonomous and Distributed Robot System," *Proc. 1989 IEEE Int. Workshop on IROS '89*, pp. 283~290.

(6) Lynne E. Parker, 1998, "Alliance: An Architecture for Fault Tolerant Multirobot Cooperation," *IEEE Transactions on Journal of Robotics and Automation*, Vol. 14. No. 2, April, pp. 220~228.

(7) R.Alami, S.Fleury, M.Herrb, F.Ingrand, and F.Robert, 1998, "Multi-Robot Cooperation in the MARTHA project," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, March, pp. 36~43.

(8) S. B. Marapane, Mohan M. Trivedi, and Nils Lassiter, 1996, "Motion Control of cooperative Robotic Teams Through Visual Observation and Fuzzy Logic Control," *Proc. of the 1996 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Minneapolis, April Vol. 2, pp. 1738~1743.

(9) T.C.Lueth, and T.Laengle, 1995, "Managing Different Types of Interactions among Robots," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1503~1508.

(10) 이종락, 1995, "광센서와 그 사용법," 세화출판사.