

무인운반차(AGV)의 주행경로 및 위치인식을 위한 라인스캔카메라를 이용한 패턴인식 알고리즘 구현

(Implementation of Pattern Recognition Algorithm Using Line Scan Camera for Recognition of Path and Location of AGV)

김수현¹⁾, 이형규^{2)*}

(Kim Soo Hyun and Lee Hyung Gyu)

요약 AGVS (Automated Guided Vehicle System)는 작업 공간 내 특정 물건 또는 상품들을 자동으로 이동 시켜주는 물류 자동화의 핵심 기술이다. 기존의 AGV는 독립적인 실내위치인식 기술과 함께 각 AGV별로 주행경로 인식을 위해 레이저, 마그네틱, 관성 센서 등을 이용하기 때문에 고비용이며 유지 및 확장이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 본 논문에서는 라인스캔카메라 기반의 마이크로 컨트롤러에서도 구현 가능한 경량화 된 패턴인식 기술을 이용하여 AGV의 주행제어뿐 아니라 위치인식을 동시에 할 수 있는 기술을 제안한다. 제안된 패턴인식기술은 각 AGV가 라인으로 표시된 경로를 인식하여 자율주행을 가능하게 할 뿐 아니라 경로 상에 바코드 형태의 간단한 이미지 형태로 설치된 패턴인식을 통해 AGV자신의 위치를 파악하는 기술을 동시에 제공하기 때문에 AGVS 구현 비용을 획기적으로 줄일 수 있을 뿐 아니라 경로 재설정 및 확장에 유리하다. 제안된 기술의 효용성 검증을 위해 마이크로 컨트롤러에서 동작 가능한 패턴인식기술을 구현하였고, AGV 프로토타입을 이용한 실험으로 그 결과 및 효용성을 검증하였다.

핵심주제어 : AGVS, 패턴인식, 라인스캔카메라, 경로인식, 위치파악

Abstract AGVS (Automated Guided Vehicle System) is a core technology of logistics automation which automatically moves specific objects or goods within a certain work space. Conventional AGVS generally requires the in-door localization system and each AGV equips expensive sensors such as laser, magnetic, inertial sensors for the route recognition and automatic navigation. thus the high installation cost is inevitable and there are many restrictions on route(path) modification or expansion. To address this issue, in this paper, we propose a cost-effective and scalable AGV based on a light-weight pattern recognition technique. The proposed pattern recognition technology not only enables autonomous driving by recognizing the route(path), but also provides a technique for figuring out the location of AGV itself by recognizing the simple patterns(bar-code like) installed on the route. This significantly reduces the cost of implementing AGVS as well as benefiting from route modification and expansion. In order to verify the effectiveness of the proposed technique, we first implement a pattern recognition algorithm on a light-weight MCU(Micro Control Unit), and then verify the results by implementing an MCU_controlled AGV prototype.

Key Words : AGVS, Pattern Recognition, Line Scan Camera, Recognition of the Location

* Corresponding Author : hglee@daegu.ac.kr
Manuscript received December 18, 2017 / revised
February 22, 2018 / accepted February 25, 2018

1) 대구대학교 대학원 정보통신공학과, 제1저자
2) 대구대학교 정보통신공학부, Corresponding Author

1. 서론

운송 시스템이 대규모로 발전함에 따라 작업 공간 내에서 물건 또는 상품들을 자동으로 이동 시켜주는 물류 자동화의 핵심 기술인 AGVS (Automated Guided Vehicle System)가 발전하게 되었다. AGV의 대표적인 예로 미국 온라인 쇼핑 업체인 아마존의 키바 로봇 Fig. 1을 들 수 있다. 아마존은 2012년에 키바 시스템즈를 인수한 후 현재 키바 로봇을 물류창고에 30,000대를 운용중이며 100여 개의 물류 센터 중 10개의 물류센터에 적용중이다. 아마존은 물류센터에 키바 로봇을 이용하면서 주문 처리 비용을 최대 9억 달러(40%), 물류 센터 비용을 20% 절감하게 되었고, 물류 창고의 절반 이상의 공간을 더 효율적으로 사용할 수 있게 되었다.

일반적으로 AGVS는 Fig. 2와 같이 여러 대의 AGV와 상위의 중앙 컨트롤러로 구성되어있다. AGV는 주어진 공간 내 경로를 인식하여 주행을 하며 직접 물건들을 이동시키는 역할을 한다. 중앙 컨트롤러는 물건들의 이동 요청에 따라 최단거리 형성, 충돌방지 교착상태 회피/회복이 적용된 주행 알고리즘[1]에 이용하여 각 AGV들의 효율적으로 주행 명령을 내린다[2]. 본 논문에서는 전체 AGV의 시스템이 아닌 AGV의 경로인식을 통한 주행과 실시간 위치파악 기술에 초점을 맞춘다.

경로인식은 AGV가 물건들을 이동시키기 위한 주행을 위해 필요하다. 대다수의 AGV는 주행경로를 인식하여 경로를 벗어나지 않고 주행하는 라인트레이싱 기술을 이용하여 주행한다. 주행을 위한 경로는 라인의 형태로 존재하고 AGV는 라인 형태의 주행경로를 인식하여 PID (Proportional Integral Derivative)제어 등 주행 알고리즘을 이용하여 주행한다.



Fig. 1 KIVA Robot-Based Logistics System

(<https://blog.naver.com/trizdoctor/220958262579>)



Fig. 2 Configuration of AGVS

중앙 컨트롤러는 AGV들을 주행 알고리즘에 따라 효율적으로 관리하기 위해 각 AGV의 위치를 파악하는데, 중앙 컨트롤러 자체에서만 AGV의 원래 위치에서 속도와 이동한 시간을 이용하여 상대적 이동 거리를 이용하여 위치를 파악하지만 AGV가 이동하면서 마찰력 등 여러 상황에 의해 오차가 발생하는데 이러한 누적 오차로 인해 위치파악 시스템 오류가 발생하여 오류 해결을 위해 AGV는 자체적으로 절대 위치파악 기술이 필수적으로 필요하다.

AGV의 위치를 파악하는 기술은 이미 레이저[3], 마그네틱[4], 관성 등을 이용한 여러 가지 방법이 있으며, 위치인식을 위한 센서를 개발 중이다[5]. 이 방법들은 안정적이지만 고비용이고, 유지 및 변환이 어렵다는 단점을 내포한다. 이러한 단점의 해결을 위해 새로운 위치파악 기술의 연구가 주목받고 있다[6].

기존의 AGV의 위치파악 기술의 단점을 해결하기 위해 QR코드[7] 같은 2차원의 이미지를 이용하거나 RFID태그, 카메라[8]를 이용하는 등 여러 가지 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 라인스캔카메라와 간단한 바코드 형태의 위치인식[9] Symbol을 이용한 패턴인식으로 2차원 이미지나 RFID태그 등을 이용하는 방법보다 컴퓨팅을 줄이고 저비용에 유지 및 변화가 쉬운 위치인식 기술을 제안한다. 또, 제안된 방법은 여러 가지 센서를 이용하여 수행하던 경로인식을 통한 주행과 위치파악을 라인스캔카메라만을 이용하여

동시에 해결할 수 있는 장점을 가진다. 직접 제작한 AGV를 통한 제안된 패턴인식을 적용한 실험과 분석으로 경로를 인식하여 주행하는 기능과 절대 위치를 파악하는 기능을 수행할 수 있음을 입증한다.

2. 패턴인식을 위한 카메라 데이터

2.1 카메라 데이터 이원화

카메라의 스캔 방식은 영역 스캔(Area Scan) 방식과 라인 스캔(Line Scan) 방식이 있다. 영역 스캔은 정지된 화상을 촬영하는데 적합하지만 컨베이어 벨트와 같이 움직이는 개체를 촬영할 때에는 영역 스캔보다 라인 스캔 방식이 더 적합하다. 본 논문의 카메라는 AGV에 설치되어 움직이며 촬영을 하므로 연속적인 촬영이 가능하고, 특징점이 적어 빠른 응답 속도를 가지는 라인 스캔 방식이 더 적합하다.[10]

본 논문의 AGV는 흰색 배경에 검은색 라인으로 이루어진 주행경로를 라인스캔카메라로 촬영하며 주행 알고리즘에 따라 이동한다. 라인스캔 카메라를 통해 얻은 카메라 데이터의 아날로그 값은 Fig. 3과 같이 ADC와 Δ Filter를 거쳐 안정화 된 카메라 데이터로 변환된다.

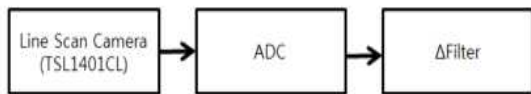


Fig. 3 Block Diagram of Data

라인스캔카메라에 사용되는 IC칩은 TSL1401CL로 128X1의 라인 픽셀을 가지며, 명암에 따라 0~5V의 아날로그 값을 출력한다. 이 아날로그 값은 ADC를 통해 Fig. 4와 같이 0~1,023의 디지털 값으로 변환된다. 그래프의 X축은 1~128의 카메라 Pixel의 개수를 나타내고, Y축은 0~1,023의 디지털 값을 나타낸다. ADC를 통한 카메라 데이터는 잡음을 포함한 곡선 형태를 가

진다.

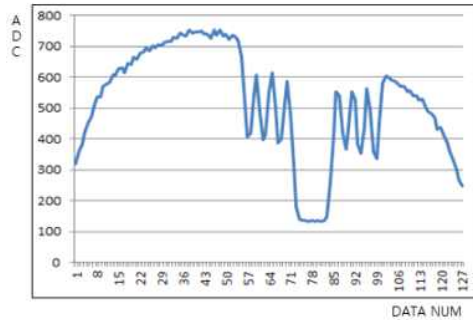


Fig. 4 Graph of Camera Data Using ADC

ADC만 통과한 카메라 데이터만으로는 데이터의 불안정으로 흰색 배경과 검은색 라인의 주행 경로를 구분할 수 없으므로 Δ Filter를 사용한다. Δ Filter는 잡음을 제거하고 흰색의 배경과 검은색의 주행경로를 구분하기 위해 데이터의 작은 변화와 같은 잡음은 데이터의 변화 없이 통과시키고 데이터의 큰 변화만 감지하여 흰색 배경과 검은색 라인을 구분할 수 있다.

라인스캔카메라는 촬영을 위해 조명을 필요로 하는데 그림자, 형광등의 밝기 등에 의해서 같은 경로의 카메라 데이터가 다르게 촬영될 수 있다. 이와 같은 데이터 변형에도 대응하기 위해서 Δ Filter의 변화량에 대한 기준은 카메라 데이터의 전체 변화량에 따라 달라진다. 밝기가 밝아 변화량이 크면 이제 따라 변화량의 기준도 커지고 그림자나 형광등의 밝기가 낮아지는 경우 변화량의 기준도 작아진다. 변화량의 기준의 변화는 주변 환경의 조명의 부재 시 AGV 자체의 LED 만으로도 촬영이 가능하다.

Δ Filter까지 통과하게 된 데이터는 Fig. 5와 같이 최종적으로 흰색은 1(5V), 검은색은 0(0V)의 이원화 된 데이터로 안정화 된 카메라 데이터의 값을 저장한다. 그래프의 X축은 1~128의 카메라 Pixel의 개수를 나타내고, Y축은 0, 1의 데이터의 값을 나타낸다.

3. 경로 인식 및 위치파악

3.1 경로 인식을 통한 주행

경로는 Fig. 6과 같이 흰색 배경에 검은색의 라인의 주행경로로 구성된다. 라인스캔카메라는 흰색 배경은 '1' 검은색 주행경로는 '0'의 이원화 데이터를 처리하여 주행경로를 인식할 수 있다. 각 그래프는 라인스캔카메라를 이용하여 빨간색 네모의 영역을 스캔하였을 때 인식되는 카메라 데이터를 그래프로 나타냈다.

주행경로를 인식하면 경로로 인식되는 패턴의 위치를 파악할 수 있다. 주행경로의 위치에 따라 AGV 양쪽의 모터의 PWM (Pulse Width Modulation) 출력을 조절하여 PID 제어를 통한 주행경로를 벗어나지 않고 주행이 가능하다.

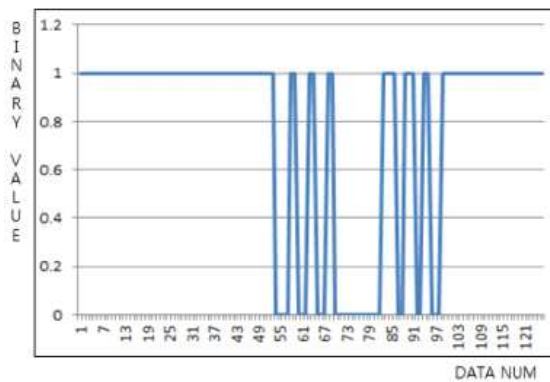


Fig. 5 Camera Data Passed through Δ Filter

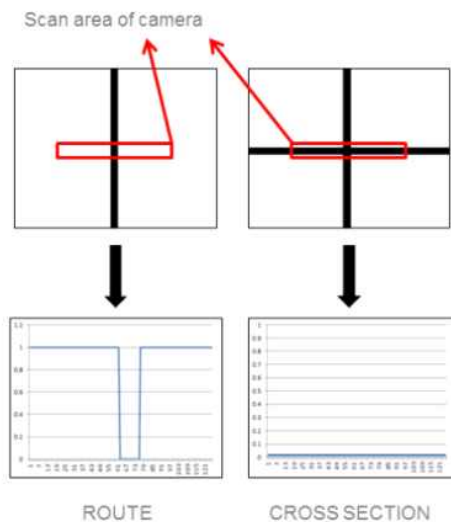


Fig. 6 Driving Route

AGV의 경로는 단일경로로 AGV의 최단거리 경로를 찾거나 충돌 회피, 교착상태 회피/회복을 위해 방향전환이 필요하다. AGV는 교차로를 통해 방향 전환이 가능하다. Fig. 7과 같이 인식된 교차로에서 컨트롤러의 명령에 따라 직진, 좌회전, 우회전과 같은 방향 전환이 가능하다.

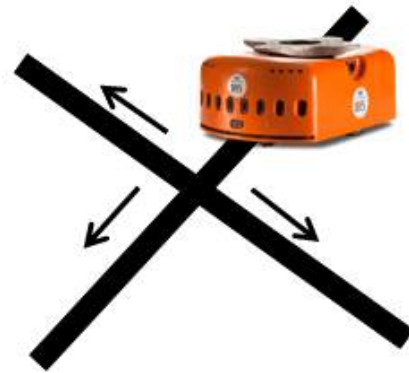


Fig. 7 Change Direction at Intersection

3.2 AGV의 절대 위치파악을 위한 Symbol

AGV의 절대 위치파악을 위한 Symbol은 AGV의 주행이 라인스캔카메라의 데이터의 좌, 우를 비교하여 주행하기 때문에 패턴인식의 인식율을 높이기 위해서 양쪽이 대칭이 되는 형태의 Symbol 2개를 이용한다. 또, 본 논문에서 이용하는 라인스캔카메라는 흰색과 검은색을 비교하여 1 또는 0의 형태로 데이터를 저장하기 때문에 유지 및 변환이 쉬운 바코드 형식의 Symbol을 이용하여 위치를 파악한다.

본 논문에서의 절대 위치파악을 위한 Symbol은 Fig 8과 같이 경로의 양 옆에 각 4개의 라인으로 구성된다. 경로와 가장 가까운 곳에 고정되어 기준이 되는 라인과 나머지 3개의 라인의 조합으로 1000 ~ 1111까지 8개의 Symbol을 사용한다. 바코드 형태의 간단한 라인의 조합으로 필요 시 다양한 Symbol을 가변적으로 사용할 수 있다.



Fig 8. Symbols for Absolute Location

3.3 AGV의 절대 위치파악을 위한 패턴인식

패턴인식은 패턴인식의 컴퓨팅을 줄이기 위해서 통계적 접근법(Statistical)과 템플릿 정합법(Template Matching)을 같이 이용한다. 통계적 접근법은 각 클래스에 속하는 패턴 집합의 통계적 분포에서 생성되는 결정 경계를 기반으로 하여 미지의 패턴이 속한 클래스를 결정하는 방법이고 템플릿 정합법은 비교 대상 패턴에 대한 형틀을 미리 마련해두고, 인식하고자 하는 패턴의 정규화 과정을 거친 후 유사도를 척도로 하여 패턴을 인식하는 방법이다.

주행경로의 양 옆의 Symbol을 이용하므로 Fig. 9와 같이 카메라 데이터의 주행경로를 제외한 양쪽의 두 개의 Symbol을 인식한 카메라 데이터를 이용하여 절대 위치파악을 위한 패턴인식을 한다.

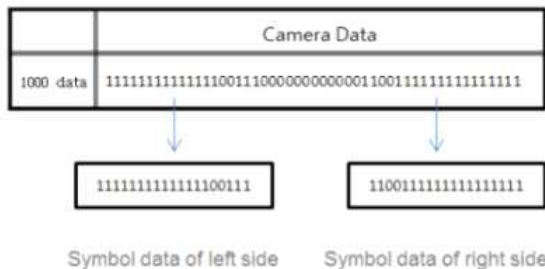


Fig. 9 Data for Recognition of the Location

Table 1과 같이 통계적 접근법을 이용하여 라인의 개수에 따라 Symbol을 분류하면 같은 개수의 라인끼리만 패턴 인식을 하므로 패턴인식에 의한 컴퓨팅을 줄일 수 있다.

Table 1 Symbol Classification according to the Number of Lines

Number of Lines	Symbol
1	1000
2	1001, 1010, 1100
3	1011, 1101, 1110
4	1111

통계적 접근법을 이용한 분류가 완료되면 템플릿 정합법을 이용한 패턴인식을 한다. Symbol의 패턴인식을 통한 카메라 데이터와 각 데이터 Set 들을 비교하여 일치하는 개수에 따라 스코어를 부여하여 가장 높은 스코어를 가지는 패턴을 인식하는 방법을 이용한다.

3.4 패턴인식을 상습을 위한 데이터 Shift를 통한 ROI 추출과 가중치를 이용한 템플릿 정합법

템플릿 정합법만을 이용한 패턴인식은 Fig. 1의 Error 1과 같이 카메라의 위치 변화에 따른 데이터 오차 현상과 Error 2와 같이 '0'과 '1'의 데이터 구분이 없음에 따라 에러가 발생한다. 인식률을 높이기 위해 카메라 데이터 Shift를 이용한 ROI (Region Of Interest) 추출과 가중치를 적용한 템플릿 정합법을 이용한 패턴인식을 이용한다.

AGV가 이동하며 움직이기 때문에 카메라의 촬영 각도가 변하게 되면 카메라 데이터가 변하는 현상으로 에러가 발생한다. 에러를 줄이기 위해 Fig. 11과 같이 위치 인식을 위한 Symbol의 패턴을 주행경로의 양 옆이 아닌 기준 패턴까지 Shift하고 최대 패턴 개수까지만 추출하여 패턴 인식에 이용한다.

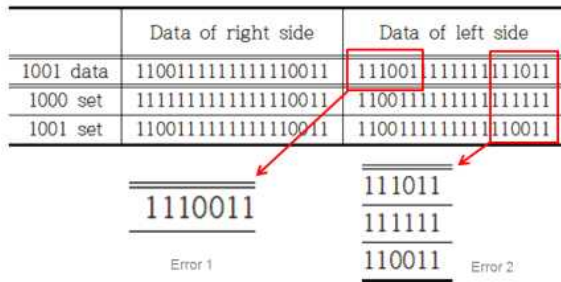


Fig. 10 Error in Pattern Recognition

‘0’과 ‘1’의 데이터의 구분이 없어 발생하는 에러를 줄이기 위해서 가중치를 적용한 템플릿 정합법을 이용한다. Symbol은 검은색의 라인으로 구성되기 때문에 검은색을 인식하는 ‘0’의 데이터의 가중치는 2, 흰색을 인식하는 ‘1’의 데이터의 가중치는 1을 두어 패턴인식을 한다.

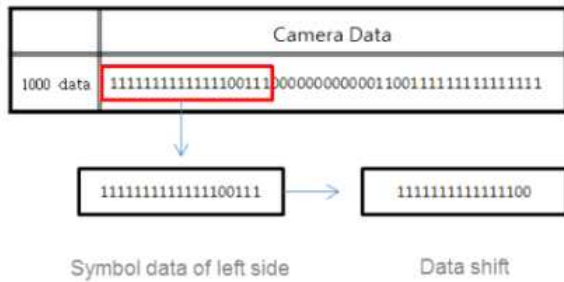


Fig. 11 ROI Extraction Using Data Shift

Table 2는 패턴인식을 위한 카메라 데이터와 데이터 Set을 포함한다. 첫 번째 줄의 데이터는 카메라 데이터의 ROI를 추출한 카메라 데이터이고, 아래의 데이터는 정규화 과정을 거친 비교 대상 패턴인 데이터 Set(템플릿)을 나타낸다.

Table 3의 내용은 1001을 나타내는 위치인식 Symbol의 카메라 데이터를 인식하므로 통계적 접근법의 분류에 의해 라인이 2개인 1001, 1010, 1100의 데이터 Set들과의 패턴인식을 통한 스코어를 표로 나타낸다.

Table 2의 빨간색 데이터는 1001을 나타내는 위치인식 Symbol을 촬영한 카메라 데이터이다. 패턴인식을 위해 비교 대상 패턴인 1001, 1010, 1100의 데이터 Set들과 유사도를 비교한다. 가중치를 이용한 템플릿 정합법에 따라 ‘1’의 데이터

Table 2 Data Set(Template) for Comparison with Symbol Camera Data

Camera Data	Symbol Data of Left Side	Symbol Data of Right Side
1001 Camera Data	110011111111111100	001111111111110111
1000 Data Set	111111111111111100	001111111111111111
1001 Data Set	110011111111111100	001111111111110011
1010 Data Set	111111001111111100	001111111001111111
1011 Data Set	110011001111111100	001111111001100111
1100 Data Set	111111111100111100	001110011111111111
1101 Data Set	110011111100111100	001110011111110011
1110 Data Set	111111001100111100	001110011001111111
1111 Data Set	110011001100111100	001110011001100111

일치 시 1의 스코어, ‘0’의 데이터 일치 시 2의 스코어를 부여하여 계산한다. 1001을 나타내는 위치인식 Symbol의 카메라 데이터를 이용한 패턴인식은 왼쪽과 오른쪽 모두 1001의 데이터 Set과 가장 높은 스코어를 얻었다.

위와 같이 데이터 Shift를 통한 ROI 추출과 가중치를 이용한 템플릿 정합법을 이용한 패턴인식은 99.38%의 인식률을 달성했다. 그러나 제안된 위치인식의 패턴인식은 주행경로 양쪽의 Symbol을 모두 이용하기 때문에 AGV의 주행하며 발생하는 여러 에러 요인에 의해 왼쪽과 오른쪽의 위치인식 Symbol의 패턴인식이 다른 경우가 발생할 수 있다. 양쪽의 패턴 중 더 높은 유사도에 의한 스코어의 패턴인식을 이용한다.

Table 3 Score of Pattern Recognition

Camera Data	Match Score of Left Side	Match Score of Right Side
1001 Data Set	21	19
1010 Data Set	15	16
1100 Data Set	15	16

Fig. 10의 위치 인식 Symbol을 나타내는 루트인 R = 2인 경우의 카메라 데이터와 같이 AGV의 주행 중 카메라 데이터가 변하는 현상 등으로 인해 Table 4와 같은 경로의 얼룩이나 인식 실패로 인한 상황의 에러가 발생한 스코어를 발견할 수 있다. 왼쪽 데이터 set의 패턴인식은 1001의 데이터 Set에서 가장 높은 스코어를 가지지만 오른쪽 데이터 Set의 패턴인식은 1100의 데이터 Set에서 가장 높은 스코어를 가진다. 양쪽의 패턴인식이 일치하지 않을 시 더 높은 스코어를 가지는 패턴인식을 선택하여 에러를 줄일 수 있다.

Table 4 Score of Pattern Recognition for Error Situation

	Match Score of Left Side	Match Score of Right Side
1001 Data Set	21	10
1010 Data Set	15	11
1100 Data Set	15	12

4. 실험 결과

4.1 실험 환경

실험에 사용된 라인스캔카메라는 TSL1401로 1 × 128의 라인 픽셀을 가지고 명암에 따라 0~5V의 출력을 가진다. MCU는 ATMega128을 이용하고 바퀴의 PWM을 조절하여 PID제어를 통한 주행을 한다. Fig. 12는 구현 된 AGV이다.



Fig. 12 Implemented AGV

4.2 패턴인식을 통한 경로인식 출력

카메라 데이터의 패턴인식을 통해 Fig. 13과 같이 경로에 나타날 수 있는 모든 경우를 분류할 수 있다. R은 패턴인식으로 파악된 루트의 상태를 나타내며 각 0- 경로 없음, 1- 주행경로, 2- 위치 인식 Symbol, 3-교차로를 인식할 때 각 숫자를 출력한다.

인식된 주행경로를 이용한 PID제어를 통한 경로를 벗어나지 않고 주행이 가능하고 교차로를 인식하여 주행, 좌회전, 우회전이 가능하다.



Fig. 13 Pattern for Recognition of the Location

4.3 제안된 절대 위치파악 패턴인식 평가

AGV의 절대 위치파악은 Table 5와 같이 AGV가 경로의 중간을 이상적으로 주행하며 카메라의 위치가 루트의 중간에서 직교하는 상황인 Normal Position, 경로를 벗어나 카메라의 위치가 루트의 좌, 우에 위치하는 상황인 Biased Position, 벗어난 경로 회복을 위해 카메라의 위치가 루트와 직교하지 않는 상황인 Recovery Position, 전체 데이터를 포함하는 Average와 패턴인식의 에러를 줄이기 위한 아무런 처리되지 않은 패턴인식 Base Line, 데이터를 Shift를 통한 ROI 추출을 통한 패턴인식을 하는 Shift, 데이터 Shift를 통한 ROI추출과 가중치를 이용한 템플릿 정합법을 이용한 패턴인식을 하는 Shift with Weight의 세 가지 경우로 나누어 인식률을 나타냈다.

인식률은 이상적으로 주행하는 상황인 Normal

Position이 다른 Biased Position이나 Recovery Position에 비해 높게 나타났으며 데이터 Shift를 통한 ROI 검출과 가중치를 이용한 템플릿 정합법을 이용한 Shift with Weight의 경우가 가장 높은 인식률을 보였다. 에러를 줄이기 위한 패턴 인식의 인식률이 99.38%까지 상승함을 알 수 있다.

Table 5 Result of Recognition of the Location

	Base Line	Data Shift	Shift with Weight
Normal Position	59.38%	78.13%	100%
Biased Position	51.56%	59.38	98.44%
Recovery Position	51.56%	68.75	100%
Average	53.13%	66.88%	99.38%

5. 결론

물류 자동화의 핵심 기술인 AGVS는 다수의 AGV와 상위 컨트롤러로 이루어져 있다. 본 논문에서는 AGV가 경로를 벗어나지 않고 주행하기 위한 경로 인식 기술과 상위 컨트롤러에서 AGV들의 운영 최적화를 위해 각 AGV의 위치를 상대 이동거리를 이용해 파악하지만 누적오차의 해결을 위한 AGV의 절대 위치파악에 초점을 맞춘다.

라인스캔카메라의 데이터를 패턴인식에 이용하기 위해 ADC와 Δ Filter를 통한 이원화 된 카메라 데이터를 이용하였고 경로에 나타날 수 있는 주행경로, 교차로, 경로 없음, 위치 인식을 위한 Symbol의 구분이 가능하다. 주행경로 인식을 통한 PID제어를 통하여 경로를 벗어나지 않고 주행이 가능하며 교차로의 인식으로 주행, 좌회전, 우회전의 방향 전환이 가능하다.

AGV의 절대 위치파악을 위해 Symbol의 패턴 인식은 데이터 Shift를 통한 ROI 추출과 가중치를 이용한 템플릿 정합법을 이용하여 AGV의 절대 위치 파악의 인식률을 99.38%까지 높일 수 있음을 확인했다.

References

- [1] Jeon, H. G. Jeong, J. H. Kim, J. S. Yoon, Y. H. and Park, J. H., "Two-Dimensional Position Estimation Algorithm of Mobile Robot Using Single-Dimensional Distance Sensor," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 23, No. 10, pp. 858-865, 2017.
- [2] Joo, Y. H. and Kim, J. S., "Shortest Path Searching Algorithm for AGV Based on Working Environmental Model," Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 17, No. 5, pp. 654-659, 2007.
- [3] Choi, B. H. Kim, B. S. and Kim, E. T., "Location Estimation and Obstacle Tracking Using Laser Scanner for Indoor Mobile Robots," Journal of The Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 21, No. 3, pp. 329-334, 2011.
- [4] Heo, S. W. and Park, T. H., "Localization System for AGVs Using Laser Scanner and Marker Sensor," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 23, No. 10, pp. 866-872, 2017.
- [5] Tao, D. and Huo, J. J., "AGV laser positioning sensor systems research and development," Wuhan University of Technology, 2006.
- [6] Kim, T. G. and Ko, N. Y., "Comparison and Analysis of Methods for Localization of a Mobile Robot," Journal of Advanced Information Technology and Convergence, Vol. 11, No. 1, pp. 79-89, 2013.
- [7] Li, J., Wu, Z., Zhang, J., Chen, W., "Research of AGV Positioning Based on the Two-Dimensional Code Recognition Method," 2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences,

- 2015, pp. 1-6.
- [8] Kim, B. K. and Jung, R. R., "Control of an Omni-Directional Mobile Robot Based on Camera Image," Journal of The Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 24, No. 1, pp. 84-89, 2014.
- [9] Zhou, C., and Liu, X., "The Study of Applying the AGV Navigation System Based on Two Dimensional Bar Code," 2016 International Conference on Industrial Informatics - Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Intergration(ICIICII), pp. 206-209, 2016.
- [10] Shin, S. H. and Kim, W., "Line Camera Image Scan for Fast-Moving Objects, Ensuring Focus on the Purpose of Controlling the BLDC Motor Profile Optimal Value Derived Research," Proceedings of KIIT Summer Conference, pp. 45-48, 2013.



김수현 (Kim Soo Hyun)

- 정회원
 - 대구대학교 정보통신공학과 학사
 - 대구대학교 정보통신공학과 석사과정
- 관심분야 : 임베디드 시스템 설계, 패턴 인식, 자율주행



이형규 (Lee Hyung Gyu)

- 정회원
 - 서울대학교 전기컴퓨터공학부석사
 - 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
 - 대구대학교 정보통신대학 임베디드시스템공학부 조교수
- 관심분야 : 저전력 시스템 설계, 에너지 하베스팅, 저전력 메모리