

# 블루투스를 이용한 저비용 AGV 차선 검출기 설계<sup>+</sup>

## (Low-cost AGV Lane Detector Design using Bluetooth)

이 지 현<sup>1) #</sup>, 박 재 현<sup>2) \*</sup>

(Jiheon Lee and Jaehyun Park)

**요약** 스마트공장은 4차 산업혁명으로 잉태되는 핵심산업 중 하나이다. 스마트공장을 실현하기 위한 기술 중 무인운반차 기술은 초기 단계로 이를 구현하기 위해선 높은 비용이 필요하다. 저비용 AGV를 개발하기 위해선 많은 데이터가 요구되지만, 저장공간이 부족하고 AGV가 이동하므로 데이터 수집 방법이 제한된다. 따라서 본 논문에서는 블루투스를 이용한 무선통신 기반 개발환경을 구축하고 이를 통해 수집한 데이터를 이용하여 차선 검출기를 개발하고자 한다. 이렇게 개발된 차선 검출기는 조명 환경의 변화나 그림자 유무와 관계없이 높은 차선 인식률을 보인다.

**핵심주제어:** 무인운반차, 차선 검출기, 저비용, 블루투스

**Abstract** A smart factory is a key industrial application introduced by the 4<sup>th</sup> industrial revolution. The automatic guided vehicle (AGV) is one of the technology realizing smart factory, but the development cost is high due to its early stage of technology. Although developing a low-cost AGV requires a lot of data, it has limited data acquisition capability because of the limited storage and the AGV movement. Hence, we propose a development environment using Bluetooth to collect data and design a lane detector. The proposed lane detector shows a high lane detection ratio regardless of light variation and a shade.

**Keywords:** Automatic guided vehicle, Lane detector, Low-cost, Bluetooth

### 1. 서론

최근 정보통신 기술의 발전과 함께 4차 산업혁명이 많은 주목을 받고 있다. 빅데이터, 인공지능, 사물인터넷 등이 4차 산업혁명의 핵심기

술로 많은 연구가 진행되고 있지만 이에 못지않게 4차 산업혁명을 통해 변화되는 산업에도 관심이 쏠리고 있다. 그중에서 스마트공장은 4차 산업혁명으로 잉태되는 산업 중에서 많은 실증 사례와 함께 변화의 물결을 선도하고 있다 (Ryu 2017; Kim, 2019). 스마트공장을 구현하는 기술 가운데에서 산업계에서 주시하는 기술은 무인운반차(Automatic guided vehicle: AGV)로 많은 기업에서 제품이 출시되었으며 산업현장에 도입을 검토하고 있지만, 제품 가격이 걸림돌로 작용하기도 한다.

AGV의 주행방식은 자기 테이프를 매설하는

\* Corresponding Author: jaehyun@ulsan.ac.kr

+ 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2018R1C1B5047150).

# 이 논문은 제1저자가 울산대학교에서 수행한 연구임.

Manuscript received March 19, 2020 / revised April 14, 2020 / accepted April 16, 2020

1) 한국과학기술원 전기 및 전자공학부, 제1저자

2) 울산대학교 전기공학부, 교신저자

궤도 방식 (Kamewak and Uemura, 1987)과 레이저 반사판을 사용하는 무궤도 방식 (Choi et al., 2011) 등이 있지만 주행 경로를 변경하는 비용이 많이 들거나 고가의 센서가 필요하는 등의 단점이 존재하여 이를 극복하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다 (Kolski, 2007; Tack and Kwon, 2014). 한편, 반도체 기술의 발달로 인해 다양한 종류의 센서와 마이크로컨트롤러 (Micro controller unit: MCU)의 성능은 높아지고 가격은 낮아지고 있다. 이러한 변화에 발맞추어 데이터 처리에 요구되는 연산량이 낮은 라인 스캔 카메라를 사용함으로써 저비용·저성능 MCU의 사용이 가능하게 하여 AGV의 가격을 낮추는 방법이 소개되었다 (Kim and Lee 2018). 이러한 방법은 카메라를 이용하기 때문에 페인트 등을 유도선으로 사용할 수 있어 자기 선 매립 방식보다 훨씬 저렴하며 유도선 수정이 쉽다는 장점이 있다.

산업현장에서 운용되는 것이 목적인 AGV는 작업자와 같은 공간에서 운용되는 것을 가정하는 경우가 많다. 이러한 운용환경에서는 AGV의 오류로 인해 치명적인 인명 피해가 발생할 수 있어 가능한 모든 상황에 대처할 수 있도록 개발되어야 한다. 특히 저비용 CCD 기반의 라인 스캔 카메라는 제한된 정보량을 제공하며 조명 환경의 변화나 그림자와 같은 외란에 취약하다는 단점이 존재하기 때문에 방대한 운용 데이터 수집이 필수적이다.

AGV 운용 데이터를 수집하는 방법으로는 크게 내부에 동작 정보를 기록하는 방식과 통신 기능을 통해 외부에 저장하는 방법이 있다. AGV 내부에 운용 데이터를 기록할 경우 저비용 MCU는 내부에 존재하는 저장 용량의 한계로 인해 수집할 수 있는 데이터양이 제한적이며 별도의 저장장치를 이용할 경우 비용이 상승하며 실시간 모니터링이 불가능하다는 단점이 있다. 반면, 유선통신을 사용하여 운용 데이터를 수집할 경우 넓은 범위를 지속적으로 이동하는 것을 가정한 AGV에 적합하지 않다.

따라서 본 논문에서는 비용이 저렴하여 널리 사용되는 블루투스를 이용하여 무선통신 기반 개발환경을 구축하고 모형 AGV를 통해 운용

데이터를 쉽게 수집할 수 있음을 보이고자 한다. 그 후 수집된 실측값을 바탕으로 차선 검출기 설계를 진행하고자 한다. 노출 시간 조정, 잡음 제거, 윤곽선 검출, 차선판단의 4단계의 알고리즘으로 이루어진 차선 검출기는 조명환경의 변화나 그림자 유무와 관계없이 좋은 성능을 보여준다. 또한, 본 논문에서 제안한 무선통신 기반 개발환경은 AGV의 충돌 방지 알고리즘 개발과 같이 저비용 AGV 개발에 활용될 수 있다.

2장에서는 라인 스캔 카메라 기반 모형 AGV의 구성 및 동작에 대해 설명하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 무선통신 기반 개발환경 구축 방법에 대해 설명하고자 한다. 이를 이용한 차선 검출기 설계에 대해 4장에서 기술하고 5장에서 실험을 통해 본 논문에서 제안한 차선 검출기의 동작을 검증한 뒤 결론짓고자 한다.

## 2. 라인 스캔 카메라 기반 모형 AGV

### 2.1 시스템 구성 및 동작

Fig. 1은 본 논문에서 대상으로 삼은 모형 AGV 시스템의 구성도이다. 모형 AGV는 CCD 기반의 라인 스캔 카메라를 통해 차선 정보를 획득한 뒤 필터를 통해 차선을 검출한다.

이를 바탕으로 AGV의 앞바퀴에 연결된 서보

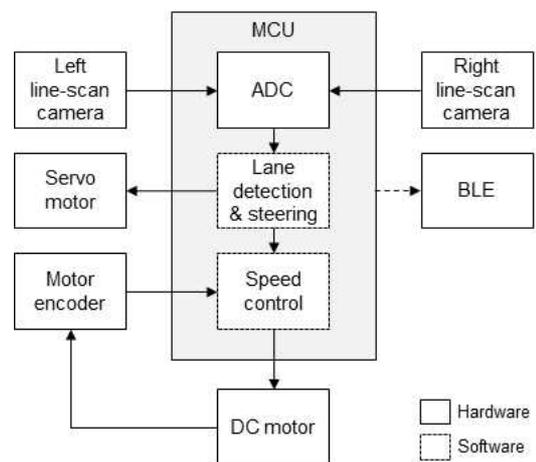


Fig. 1 System Diagram of Model AGV

모터를 제어하여 이동 방향을 결정하며 뒷바퀴에 연결된 DC 모터를 제어하여 이동 속도를 제어한다. AGV를 안정적으로 제어하기 위해서는 제어 입력에 대한 시스템의 반응을 측정하여야 한다. 이를 위해 모터 인코더를 기어박스에 연결하여 모터의 회전수를 측정하였다. 이와 같은 모형 AGV가 자율주행을 수행하기 위해선 안내선의 변화에 따라 조향각 제어와 속도 제어가 이루어져야 한다. 모형 AGV의 이동 방향을 결정하는 조향각은 모형 AGV가 주행 중 차선을 이탈하지 않도록 결정되어야 한다. 이를 위해 단일 목표점에 대하여 원호를 그리며 추적하는 Pure Pursuit 경로 추적 알고리즘을 이용하여 조향각을 결정한다 (Coulter, 1992). 속도 제어를 위해 계단 입력 (Step input)에 대한 전달함수를 찾고 이를 이용하여 PID 기반 속도 제어를 설계하였다.

## 2.2 CCD 기반 라인 스캔 카메라

자율주행을 성공적으로 수행하기 위한 핵심 중 하나는 정확한 차선 인식이다. 최근 연구가 많이 진행되고 있는 자율주행 차량의 경우 LIDAR나 스테레오 카메라가 사용되고 있다. 하지만 이러한 영상인식 장비는 가격이 높을 뿐만 아니라 많은 양의 데이터를 생성하기 때문에 이를 처리하기 위하여 고성능의 프로세서가 필요하다. 반면 CCD 기반의 라인 스캔 카메라는 1차원의 데이터만 생성하므로 연산력이 낮은 MCU를 활용하여 차선을 검출할 수 있어 AGV 시스템의 가격을 낮출 수 있다.

본 연구에서 사용된 CCD 기반의 라인 스캔 카메라는 Fig. 2(a)와 같이 설정된 노출 시간 동안 빛을 수집한 뒤 수집된 빛의 양에 비례하는 전압값을 1차원 출력으로 내보낸다. 따라서 도로의 밝은 부분은 높은 전압으로, 어두운 부분은 낮은 전압으로 출력된다. 출력된 전압을 MCU의 ADC를 통해 변환하면 Fig. 2(b)와 같은 형태의 그래프를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 전면의 2개의 라인 스캔 카메라를 장착한 뒤 각각의 카메라로부터 얻은 정보를 필터링하여 차선을 추출하고 그 정보를 이용하여 차량 방향

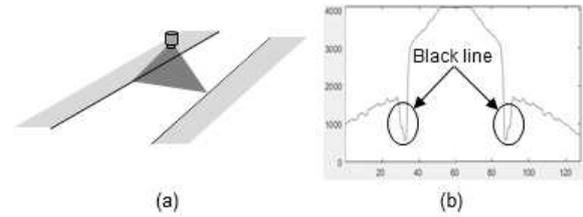


Fig. 2 Line-scan camera operation

및 속도 제어를 수행하였다.

CCD 기반의 라인 스캔 카메라는 노출 시간 동안 빛을 받아들이는 동작 방식으로 인해 출력값이 주변 조명에 따라 큰 폭으로 변화하고 물체의 표면 재질에 따라 빛을 반사하는 정도의 차이와 물체와 렌즈 중심과의 각도에 따른 받아들이는 광량이 변하는 특성을 가진다. 즉, 카메라가 흰 배경을 촬영하더라도 중앙값이 가장 높고 좌우의 값이 낮아지는 반원 형태 출력이 나오는 특성 등을 가진다. 따라서, 주행 환경의 변화와 관계없이 차선을 정확하게 인식하기 위해선 광량에 따라 카메라의 노출 시간을 변경할 필요가 있으며 잡음 등으로 인해 왜곡된 출력으로부터 차선 정보를 추출할 수 있는 필터 설계가 필요하다.

## 3. 무선통신 기반 개발환경 구축

### 3.1 모형 AGV 태스크 분석

차선 검출기나 자율주행 제어기를 설계하기 위해서는 동작 시 라인 스캔 카메라의 출력값과 같은 동작 실측값이 많이 필요하다. 저비용 AGV의 경우 저성능의 MCU를 사용하기 때문에 동작 실측값을 AGV 내부에 저장하기엔 어려움이 존재한다. 또한, AGV 시스템은 움직이기에 유선 연결을 이용한 실측값 수집 방식도 제약사항이 따른다. 이에 본 논문에서는 저비용 무선통신 방식 중 하나인 블루투스를 통해 실측값을 수집하여 차선 검출기를 설계하는 방법을 제안하고자 한다.

이러한 무선통신을 기반으로 실측값을 수집할

때 유의할 점은, 자원이 제한된 시스템에서 실측값 수집 및 전송 과정이 시스템 동작의 외란 요소가 될 수 있다는 점이다. 동작 실측값 수집 과정의 유무에 의해 시스템의 동작이 영향을 받는다면 시스템의 안정성을 낮추어 시스템 실패로 이어질 수 있다. 이를 방지하기 위하여 먼저 자율주행을 위한 태스크에 대한 분석을 수행하였다.

AGV 자율주행을 위한 태스크는 차선을 인식하고 AGV의 조향각과 목표속도를 결정하는 태스크와 결정된 목표속도로 DC 모터를 제어하는 태스크로 이루어져 있다. 첫 번째 태스크의 동작 주기는 10ms, 두 번째 태스크의 동작 주기는 1ms이며 각각의 태스크를 구성하는 요소들의 수행시간은 Table 1과 같다.

첫 번째 태스크는 먼저 ADC를 이용하여 라인 스캔 카메라의 값을 읽어 들인다. 영상처리 필터를 이용하여 잡음을 제거한 뒤, 차선 정보를 추출한 다음 Pure Pursuit 경로 추적 알고리즘을 이용하여 조향각을 결정한다. Pure Pursuit은 단일 목표 지점에 대하여 원호를 그리며 추적 할 수 있게 해주는 알고리즘이다 (Coulter, 1992). Pure Pursuit 알고리즘은 단일 목표 지점만을 이용하기 때문에 출력값은 조향각뿐이다.

모형 AGV가 자율주행하기 위해선 목표속도를 결정하여야 하므로 본 논문에서는 조향각에 따라 목표속도를 정하는 함수를 설계하여 모형 AGV를 제어하였다. 마지막으로 서보 모터를 제어하기 위한 PWM 출력을 생성하는 것으로 첫 번째 태스크의 동작이 완료된다.

두 번째 태스크는 DC 모터를 제어하는 태스크이다. 이 태스크는 모터 인코더의 출력을 이용하여 현재 차량의 속도를 구하는 작업과 PID 제어를 통해 DC 모터에 공급되는 전력 값을 계산하는 작업, 그리고 PWM 신호를 이용하여 목표값으로 DC 모터의 전력을 공급하는 작업으로 이루어져 있다.

조향각과 목표속도를 결정하는 태스크의 핵심 설계요소는 정확한 차선 인식을 위한 필터이다. 차선 인식이 정확하게 되지 않으면 조향각 계산이 잘못되어 오류가 발생할 수 있다. 비슷하게 DC 모터를 제어하는 태스크의 핵심 설계요소는 안정적인 동작을 보장하기 위한 PID 계수 설계이다. 이와 같은 설계를 효과적으로 진행하기 위해선 많은 동작 실측값이 필요하고 이를 위해 다음과 같이 무선통신을 기반으로 동작 실측값을 전송하는 개발환경을 구축하였다.

Table 1 Model AGV Task Analysis

Task (Period)	Job description	Execution time
Lane detection and steering (10ms)	Reading line-scan camera	3ms
	Filtering and lane estimation	500 $\mu$ s
	Steering angle and target speed calculation	5 $\mu$ s
	Servo motor control	1 $\mu$ s
Speed control (1ms)	Reading motor encoder and AGV speed calculation	1 $\mu$ s
	PID control	10 $\mu$ s
	DC motor control	1 $\mu$ s

### 3.2 실측값 전송을 위한 프레임 구조 설계

모형 AGV 동작 시 실측값은 연속적으로 생성되어 무선통신을 통해 전송된다. 이처럼 연속적으로 취득되는 정보를 올바르게 해석하기 위해선 유효한 정보의 시작을 정확하게 알아야 한다. 특히 2가지 이상의 정보를 동시에 전송할 경우 해당 정보를 구분할 수 있어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해 본 연구에서는 데이터 프레임을 구성하고 수집되는 정보의 유효 범위를 벗어나는 값을 데이터 프레임의 프리앰블로 사용하여 유효한 정보의 시작을 파악하도록 설계하였다.

본 연구에서는 저비용 무선통신 장치인 블루투스 모듈 HC-05를 사용하였다. 해당 모듈은 UART 인터페이스를 사용하며 최대 전송속도는 115,200bps이다. 최대 전송속도 사용을 가정하였을 때 수집하여야 하는 데이터의 수집주기와 수

집되는 데이터양, 해당 데이터의 전송시간은 Table 2와 같다.

라인 스캔 카메라 실측값의 경우 수집속도가 전송속도보다 빨라 모든 실측값을 전송할 수 없다. 라인 스캔 카메라의 동일시간에 측정된 값은 연속된 공간에 대한 데이터로 일부 데이터가 생략될 경우 효율성이 급격하게 저하된다. 반면 짧은 태스크 수행주기로 인해 태스크가 한번 수행되는 동안 차량의 이동 거리가 크지 않다. 따라서 본 연구에서는 라인 스캔 카메라 실측값을 전송하는 주기를 태스크 수행주기의 배수로 설정하고 생략된 데이터는 내삽 (Interpolation)을 통해 추정하였다. 차선 인식 필터 설계를 위한 라인 스캔 카메라의 측정값 이외에도 PID 계수 설계를 위해 DC 모터 제어 목표값과 모터 인코더의 출력 값이 필요하다. 하지만 라인 스캔 카메라의 측정값만으로도 블루투스 통신의 대역폭 한계에 도달하였기 때문에 Fig 3.와 같이 동작 모드를 구분하여 실측값을 전송하였다.

#### 4. 차선 검출기 설계

다양한 환경에서 수집된 라인 스캔 카메라 실측값을 바탕으로 노출 시간 조정, 잡음 제거, 윤곽선 검출, 차선판단의 4단계의 알고리즘을 수행하는 차선 검출기를 설계하였다.

첫 번째 단계인 노출 시간 조정 단계는 주위 조명의 변화에 따라 변화하는 라인 스캔 카메라의 출력 값에 대응하기 위한 과정이다. 위에서 기술한 바와 같이 조명이 부족한 환경에서 노출 시간이 부족하다면 차선과 도로의 구분이 명확하지 않게 된다. 반대로 조명이 충분한 환경에서 긴 노출 시간을 설정하게 되면 모든 출력 값이 최고값으로 표시되는 포화상태가 되어 차선을 구분할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 모형 AGV의 안정적인 동작을 제어할 수 있는 노출 시간 범위를 설정한 후 해당 범위 동일시간에 측정된 값의 평균이 ADC의 출력범위 중간값과 근사하도록 노출 시간을 조절하는 알고리즘을 적용하였다.

두 번째 단계는 필터를 이용한 잡음 제거 과정

Table 2 Required Data Analysis

	Period	Amount	Minimum transmission time
Line-scan camera output	35ms	512byte	44.44ms
PID control output	1ms	2byte	173.6μs
Motor encoder output	1ms	2byte	173.6μs

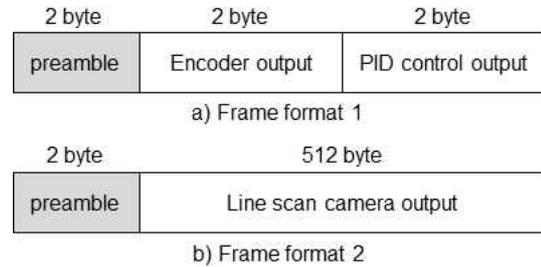


Fig. 3 Transmission Data Frame

이다. CCD 센서를 통해 수집된 신호에는 주변 환경적 요인에 의한 잡음이 존재한다. 이러한 잡음은 차선검출 과정에서 오류를 발생시킬 수 있으므로 필터를 통해 완화하였다. 영상처리에서 잡음을 완화하기 위해 가우시안 필터, 미디안 필터가 주로 사용된다(Gonzalez and Woods, 2008). 가우시안 필터는 가우시안 함수값을 이용하여 마스크를 생성한 필터로 더하기 연산만 사용한다. 반면 미디안 필터는 주어진 마스크의 값들은 순서대로 정렬한 후 중간값을 선택하는 필터로 정렬과정으로 인해 가우시안 필터보다 수행시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 두 필터 중 라인 스캔 카메라의 출력에 적합한 잡음 제거 필터를 선택하기 위해 본 논문에서 제안한 무선통신 기반 개발환경을 통해 실측값을 수집하여 분석하였다. 분석결과 잡음의 형태가 소금 후추 잡음 (Salt & Pepper noise)임을 확인하였다. 위에서 제시하는 바와 같이 수집된 데이터를 통해 실험한 결과 가우시안 필터보다 미디안 필터가 소금 후추 잡음

제거 능력이 우수하였으며 1x3으로 이루어진 미디안 마스크만으로도 잡음을 효과적으로 완화할 수 있음을 확인하였다. 또한, 마스크의 크기 작아 요구 연산량이 크지 않은 관계로 저비용 MCU에서도 효과적으로 구현할 수 있음을 확인하였다.

차선검출을 위한 마지막 단계는 윤곽선 검출 단계이다. 본 연구에서 사용된 차선은 흰색의 도로 위에 검은색으로 구분되어 있다. 차선과 도로는 빛이 반사되는 정도가 달라 라인 스캔 카메라의 출력값 중 도로에 해당하는 부분의 값이 급격하게 낮아져 윤곽선을 형성한다. 이러한 윤곽선을 검출하는 기법으로 소벨, 프리윗, 로버즈, 케니, 라플라시안 기법 등이 제안되었다(Gonzalez and Woods, 2008).

프리윗 마스크는 윤곽선 검출에 가장 보편적으로 사용되는 마스크로 이산 미분 연산자로 마스크 중앙을 기준으로 좌우의 값의 차이만을 이용한다. 하지만 본 연구에서 제안한 무선통신 개발환경을 통해 주행 중 수집한 데이터를 분석한 결과 도로 위에 그림자 등의 상황변화에 의한 잡음이 존재하면 오류가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 라플라시안 마스크를 변형한 Fig. 4와 같은 필터를 제시하였다. 해당 필터 설계 시 수집된 실측값을 분석하여 중앙의 마스크 크기를 차선의 폭과 같은 크기로 변형 하였으며 이동평균 개념을 적용하였다. 이처럼 설계된 필터는 라인 스캔 카메라의 출력값이 차선과 같은 폭만큼 어두운 경우 가장 크게 반응하고 그와 다른 폭을 가지는 그림자와 같은 잡음에 둔감해져 차선검출 오류의 발생을 줄일 수 있음을 확인하였다.

## 5. 실험

### 5.1 실험환경

본 논문에서 사용한 라인 스캔 카메라는 TAOS 사의 TSL1401CL이며 MCU는 Infineon 사의 TC275로 최대 동작 속도는 200MHz이다. 서보 모터는 Tower Pro 사의 MG996R이며 DC



Fig. 4 Proposed Edge Detection Filter

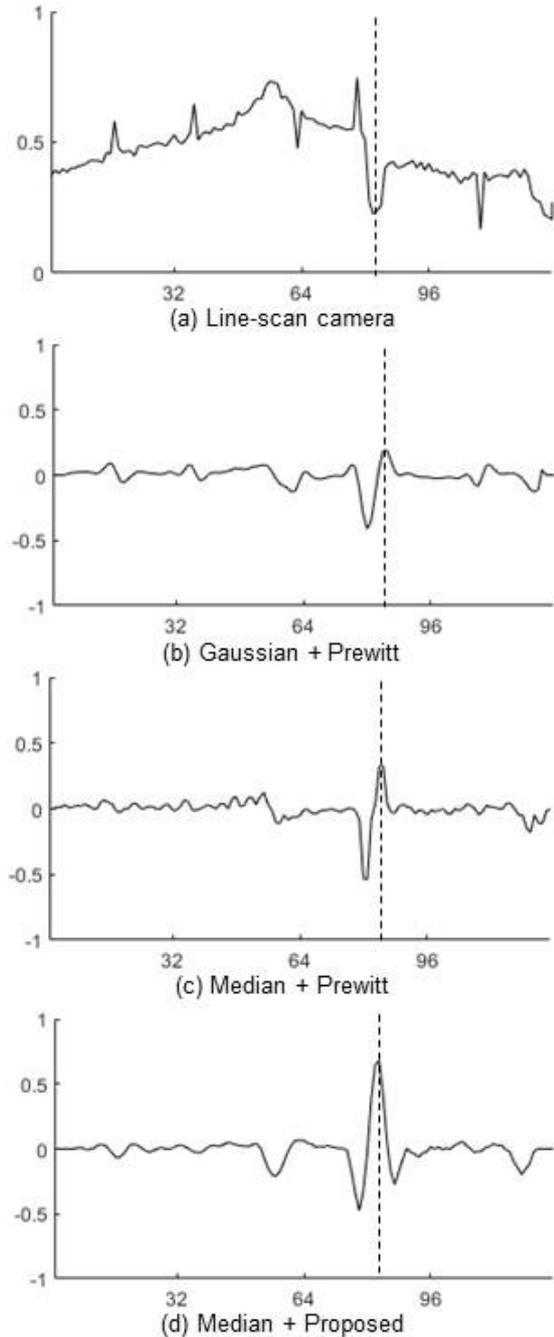


Fig. 5 Line-scan Camera Output and Lane Detection Results according to the Filters

모터는 Traxxas 사의 Titan 775, 모터 인코더는 Autonics 사의 E30s4이다. 흰색 도로의 폭은 49cm이며 흰색 도로의 양쪽 가장자리에 존재하는 검은색 차선의 폭은 2cm이다.

무선통신 기반 개발환경을 통해 개발한 차선 검출기의 성능을 비교하기 위해 조도 400 Lux 와 200 Lux 환경에서 좌우 카메라 각각 100회 측정하였다. 조건 1은 잡음 제거 필터로 가우시안 필터를 사용하였으며 윤곽선 검출을 위해 프리윗 마스크를 사용하였다. 조건 2는 잡음 제거와 윤곽선 검출을 위해 미디안 필터와 프리윗 마스크를 각각 사용하였다. 마지막으로 본 논문에서 제안하는 조건 3은 잡음 제거를 위해 미디안 필터를 사용하였고 윤곽선 검출은 본 논문에서 제안한 마스크를 통해 진행하였다. 이어지는 실험을 통해 서로 다른 필터를 이용한 차선 검출기의 차선검출 성능과 노출 조정 시간 알고리즘의 효과를 검증하였다.

## 5.2 실험결과

무선통신 기반의 개발환경을 통해 획득한 라인 스캔 카메라의 실측값과 사용한 필터 종류에 따른 차선 검출기 출력값은 Fig. 5와 같다. 두 개의 라인 스캔 카메라 중 왼쪽 카메라의 출력이며 차선의 위치는 세로 점선을 통해 표시하였다. 앞에서 기술하였듯이 라인 스캔 카메라 출력에 존재하는 잡음 형태는 Fig. 5(a)와 같이 소금 후추 잡음이다. Fig. 5(b)와 Fig. 5(c)는 조건 1과 조건 2의 필터를 이용하여 차선을 검출한 결과를 보여주고 있으며 미디안 필터가 가우시안 필터보다 잡음 제거 성능이 좋으며 차선검출 결과도 우수한 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서

제안한 조건 3의 필터를 사용한 결과를 Fig. 5(d)에서 확인할 수 있다. 이처럼 본 논문에서 제안한 윤곽선 검출 마스크를 사용할 경우 잡음에 강인하며 차선을 더욱 명확하게 검출한다.

그림자가 없는 상황에서 노출 시간 조절 알고리즘 여부와 사용한 필터 종류에 따른 차선 검출기의 성능은 Table 3에 정리되어 있다. 차선 검출기를 통해 검출된 차선과 실제 차선의 위치 사이의 평균 오차를 구하였다. 이때 검출된 차선의 위치와 실제 차선의 위치가 차선의 폭 이내라면 오차를 0cm로 계산하고 차선 인식 성공으로 판단하였다. 만약 차선이 검출되지 않았을 경우 도로 폭의 절반을 오차로 가정하였다.

먼저 사용한 필터에 따른 차선검출 성능을 살펴보면 노출 시간이 400 Lux 환경에 맞춰진 상태에서 잡음 제거 필터를 가우시안 필터에서 미디안 필터로 변경할 경우 차선 인식 오차가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 여기에 더해 윤곽선 검출 필터도 본 연구에서 제안한 마스크를 사용할 경우 오류 없이 차선을 검출할 수 있다. 각 조건에 따른 차선 인식률은 Fig. 6과 같다. 조건 1과 조건 2, 조건 3의 차선 인식률은 각각 92.0%, 97.5%, 100%이다. 이렇게 설정된 노출 시간으로 200 Lux 환경에서 동작시키면 조건 1의 경우나 조건 2의 경우 검출 오차가 많이 늘어나는 것을 볼 수 있으며 차선 인식률은 각각 8.0%와 64.0%이다. 반면, 본 논문에서 제안한 조건 3의 경우 낮은 검출 오차를 볼 수 있으며 차선 인식률은 95.5%이다.

외부 조명변화에 따른 노출 시간을 조절 알고리즘의 효과를 살펴보면 400 Lux 환경에서 조건 1과 조건 2, 조건 3의 차선 인식률은 각각 100%, 99.5%, 100%로 사용한 필터의 종류와 관

Table 3 Comparison of Lane Detection without a Shade

Exposure time	400 Lux			200 Lux		
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 1	Case 2	Case 3
Fixed (10ms)	1.186cm	0.479cm	0cm	15.27cm	6.045cm	0.761cm
Varied (1 ~ 24ms)	0cm	0.245cm	0cm	0.843cm	1.384cm	0.005cm

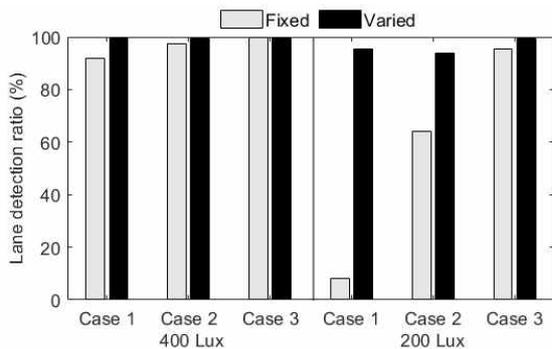


Fig. 6 Lane Detection Ratio

계없이 차선검출이 잘 되는 것을 확인할 수 있다. 200 Lux 환경에서의 차선 인식률은 각각 95.5%, 94.0%, 99.5%로 상승하여 노출 시간 조절 알고리즘이 차선 인식률을 효과적으로 높이는 것을 볼 수 있다. 마지막으로 그림자가 존재하는 상황에서는 노출 시간 조절 알고리즘이 적용되었음에도 조건 1과 조건 2의 차선검출 오차는 각각 13.52cm와 11.76cm이고 차선 인식률은 47.5%로 동일하였다. 반면, 조건 3의 차선검출 오차는 0.25 cm이며 차선 인식률은 99.0%를 보였다. 이처럼 무선통신 기반 개발환경을 이용하여 그림자가 존재하는 상황에서도 효과적으로 동작하는 차선 검출기를 설계할 수 있었다.

## 6. 결론

4차 산업혁명의 중요 응용 중 한 가지는 스마트 공장이다. 최근 스마트공장을 구축하는 과정에서 AGV를 이용한 물류 자동화가 주목받고 있다. LIDAR나 스테레오 카메라에 기반을 둔 AGV는 많은 연산량이 요구되어 가격이 높은 단점이 있지만, CCD 기반의 라인 스캔 카메라를 이용할 경우 연산량이 적어 AGV 제어기로 저비용 MCU를 이용할 수 있다. 반면, 저비용 MCU를 이용하여 AGV를 구현할 경우 MCU 내부의 저장공간이 부족하여 자율주행 제어기를 개발하는데 필요한 실측값을 손쉽게 얻지 못한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 무선통신 기반의 개발환경을 제안하고 이를

통해 모형 AGV에서 실측값을 수집하였다. 실측값 분석을 통해 라인 스캔 카메라의 잡음이 소금 후추 잡음을 확인하였고 그림자와 조명 환경의 변화가 차선 검출기의 오동작을 발생시키는 요소임을 확인하였다. 또한, 수집된 실측값을 이용하여 그림자가 존재하거나 조명 환경이 변화하더라도 효과적으로 동작하는 차선 검출기를 설계하고 실험을 통해 차선 인식률이 최대 41.5% 향상된 차선 검출기를 설계할 수 있음을 보여 제안한 무선통신 기반 개발환경의 효용성을 입증하였다. 이와 같은 무선통신 기반 개발환경은 충돌방지 알고리즘과 같이 실측값이 필요한 알고리즘 개발에 활용될 수 있으며 후속 연구를 통해 무선통신 기반 개발환경을 고도화하고자 한다.

## References

Choi, B., Kim, B., and Kim, E, (2011). Location Estimation and Obstacle tracking using Laser Scanner for Indoor Mobile Robots, *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, 21(3), <https://doi.org/10.5391/JKIS.2011.21.3.329>

Coulter, R. C, (1992), Implementation of the Pure Pursuit Path Tracking Algorithm, *Technical Report*, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University.

Gonzalez, R C., and Woods, R, E. (2008). *Digital Image Processing Third Edition*, Pearson.

Kamewak, S., and Uemura, S., (1987). A Magnetic Guidance Method for Automated Guided Vehicles, *IEEE Transactions on Magnetics*, 23(5), 2416-2418.

Kim, H. (2019) An Empirical Study on Continuous use Intention and Switching Intention of the Smart Factory, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, <https://dx.doi.org/10.9723/jksis.2019.24.2.065>

Kim, S., and Lee, H.G, (2018). Implementation of Pattern Recognition Algorithm using Line Scan Camera for Recognition of Path and Location of AGV, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*,

<https://doi.org/10.9723/jksii.2018.23.1.013>.

Kolski, S. (2007). *Mobile Robots Perception and Navigation*, Germany, Pro Literatur Verlag.

Ryu, J. T., (2017) A Study on Improvement of Liquid Aluminum sulfate Manufacturing Process using Automation Measurement System, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, <http://dx.doi.org/10.9723/jksii.2017.22.5.031>

Tack, H. H., and Kwon, S. G., (2014) Driving Control of Automated Guided Vehicle Using Centroid of Gravity Method, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, <http://doi.org/10.9723/jksii.2014.19.2.059>



**이 지 현 (Jiheon Lee)**

- 울산대학교 전기공학부 공학사
- (현재) 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 석사과정
- 관심분야: IoT 시스템, 가시광 통신



**박 재 현 (Jaehyun Park)**

- 정회원
  - 서울대학교 전기공학부 공학사
  - 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 공학박사
  - (현재) 울산대학교 전기공학부 조교수
- 관심분야: IoT 시스템, 비휘발성 메모리 시스템, 저전력 시스템