

# 레이저 거리 센서만을 이용한 자율 주행 모바일 로봇의 도로 위 정보 획득

## Lane Marking Detection of Mobile Robot with Single Laser Rangefinder

정 병 진, 박 준 형, 김 택 영, 김 덕 영, 문 형 필\*  
(Byung-Jin Jung<sup>1</sup>, Jun-Hyung Park<sup>1</sup>, Taek-Young Kim<sup>2</sup>, Deuk-Young Kim<sup>3</sup>, and Hyungpil Moon<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Sungkyunkwan University

<sup>2</sup>Hyundai Engineering

<sup>3</sup>HMC

**Abstract:** Lane marking detection is one of important issues in the field of autonomous mobile robot. Especially, in urban environment, like pavement roads of downtown or tour tracks of Science Park, which have continuous patterns on the surface of the road, the lane marking detection becomes more important ability. Although there were many researches about lane detection and lane tracing, many of them used vision sensors mainly to detect lane marking. In this paper, we obtain 2 dimensional library data of 'Intensity' and 'Distance' using one laser rangefinder only. We design a simple classifier and filtering algorithm for the lane detection which uses only one LRF (Laser Range Finder). Allowing extended usage of LRF, this research provides more functionality not only in range finding but also in lane detecting to mobile robots. This work will be technically helpful for robot developers to design more simple and efficient autonomous driving system using LRF.

**Keywords:** laser rangefinder, intensity of reflected laser, autonomous mobile robot, lane detection

### I. 서론

로봇의 포장도로 위 자율 주행은 도로 위 환경에 존재하는 패턴 정보를 따라가는 것으로 이루어진다. 로봇이 인식하는 주변 환경 데이터는 여러 가지가 있는데, 이들 중 도로 위 주행에 주로 사용되는 것은 로봇이 인식하는 지점과 로봇의 상대적인 거리, 각도 등의 상대적 위치 데이터이다. 측정 대상은 크게 '입체적인' 것과 그렇지 않은 것 두 가지로 나눌 수 있다. 이러한 분류는 거리 측정 센서의 분해능에 연관된 것으로, 거리 데이터만으로 구분 가능한 것을 입체적 대상으로 정의한다. 예를 들면, 전자는 도로 위의 차량 혹은 기타 장애물이나 진행 목표물 등 지면과 뚜렷한 높이 차가 있는 대상을, 후자는 차선 중앙선, 도로 위에 그려진 문양이나 표식 등을 말할 수 있다.

로봇의 자율 주행에 관련한 연구들에서 전자는 주로 거리 센서로 측정하고, 후자는 주로 카메라 센서로 측정해 왔다 [1-6]. 본 논문에서는 거리 센서인 레이저 센서로 입체적이지 않은 대상 중 도로 위의 차선을 구분하는 연구를 다루었다. [5]와 [6]등의 연구에서 이미 레이저 센서를 이용한 차선 인식을 다루었다. 그러나 이들은 비전, 혹은 GPS 데이터를 이용하여 한정시킨 측정 지점, 혹은 범위에서 반사 레이저 세기의 1차원적인 크기 비교를 통해 차선의 위치를 확률적으

로 추정하였다. 또한 [6]과 같은 연구에서는 측정 대상의 반사율에 따라 반사 레이저의 세기를 분류하고, 증폭 회로의 입력 전압을 토대로 측정되는 반사 레이저 세기를 더 잘 비교할 수 있는 방안을 모색하였지만, 역시 반사 레이저의 1차원적인 크기 비교를 통한 대상 구분 방법에 그쳤다. 이와 달리 본 연구는 레이저 센서의 거리 데이터와 반사 레이저 세기 데이터를 2차원적으로 이용한 판단 기준을 작성, 실제 주행 시 이 기준을 이용하여 레이저 센서만을 이용하여 정확한 차선의 상대적 위치 정보를 획득할 수 있도록 한 것에 그 의미가 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 상용화된 거리 센서의 작동원리와 연구에 사용한 센서의 동작 특성을 소개하였다. III 장은 크게 세 부분으로서, 고정 위치 각각의 거리에서의 측정 실험 및 데이터 판별에 사용할 기준 생성 과정, 주행 시 얻어지는 데이터의 분석 및 환경 지도 작성, 작성된 지도의 원활한 활용을 위한 필터링 과정을 다루었다. 마지막 IV 장에서는 본 연구를 통해 얻은 결론을 서술하였다.

### II. 레이저 센서의 특성

#### 1. 레이저 센서의 측정 원리

레이저 센서는 레이저를 이용하여 일정 범위 내 대상들의 데이터를 수집하는 거리 센서이다. 센서의 측정 데이터는 주로 센서를 중심으로 한 대상의 상대적 위치를 수집하여 극좌표 형식으로 출력한다. 작동 원리에는 일정한 방향과 속도, 파장을 유지한다는 빛의 특성이 응용된다. 실제 사용되는 대표적 센서 제품들은 표 1과 같은데 [7-9], 각각의 작동 원리는 크게 3가지로 나눌 수 있다 [9]. 시간 차 측정 (TOF: Time of Flight measurement), 삼각 측정(triangular measurement), 위상 차

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 2. 20., 수정: 2011. 3. 10., 채택확정: 2011. 3. 29.

정병진, 박준형, 문형필: 성균관대학교 기계공학부

(jbsin@me.skku.ac.kr/parkkael@skku.edu/hyungpil@me.skku.ac.kr)

김택영: 현대엔지니어링 플랜트사업부(myweird@gmail.com)

김덕영: 현대자동차(pomatto@nate.com)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 성균관대학교 차세대로봇 액츄에이터/센서 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-C7000-1001-0008).

표 1. 레이저 센서의 종류.

Table 1. Types of laser sensors.

센서	작동원리	최대 측정 거리	분해능	제조사
URG-04LX	위상 차 측정	4m	1mm	HOKUYO
LMS-200	시간 차 측정	10m	10mm	SICK
LMS-400	위상 차 측정	3m	1mm	SICK
AR200-6	삼각 측정	21mm	1,9 $\mu$ m	Acuity
AR1000	위상 차 측정	30m	3mm	Acuity

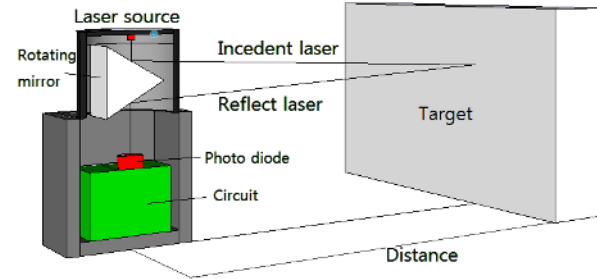


그림 1. 위상 차 측정 방식 모식도.  
Fig. 1. Phase-Shift Comparison measurement.

측정(phase-shift comparison measurement)이 그것이다. 시간차 측정 방식은 지정된 방향으로 발사된 레이저가 목표에 반사되어 센서로 돌아올 때까지의 시간을 분석하여 방향과 거리를 측정한다. 삼각 측정 방식은 일정한 패턴의 레이저를 발사하고, 대상에 맺힌 상을 CCD 카메라 등으로 감지, 분석하여 목표와의 거리를 측정한다. 위상 차 측정 방식은 지정된 방향으로 발사된 레이저가 목표에 반사되어 센서로 돌아올 때의 위상을 발사 시 레이저의 위상과 비교하여 목표의 방향과 거리를 측정한다[10].

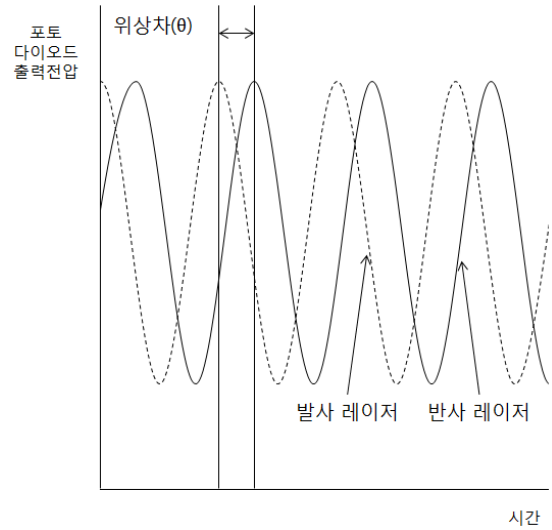
이들 중 본 논문에서는 삼각 측정에 비해 긴 측정 거리를 가지고, 시간차 측정에 비해 분해능이 우수한 위상 차 측정 원리를 사용한 센서 중 HOKUYO 사의 URG-04LX ([7] 참조)를 연구에 사용하였다.

위상 차 측정 방식의 원리와 그 특징을 좀 더 자세히 설명하자면, 그림 1과 그림 2(a)에 그려진 모식도로 나타낼 수 있다. 광원에서 생성된 레이저는 회전 거울에 의해 정해진 방향으로 발사된 뒤 일정한 주파수를 유지한 채 목표에 반사되어 하단의 포토 다이오드에 인식된다.

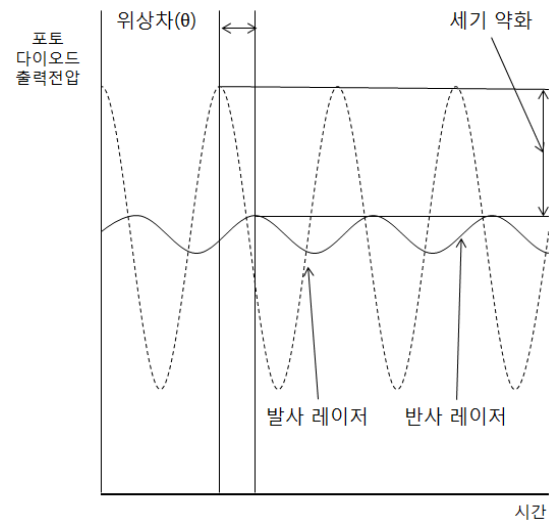
포토 다이오드는 들어온 레이저의 위상과 세기를 반영한 전자적 신호를 발생시키는데, 센서 내 회로에서는 이 신호를 발사되었을 때의 레이저 신호와 비교하여 목표와의 거리를 산출한다. 그 관계는 위상 차를  $\theta$ , 대상까지의 거리를  $L$ , 레이저 주파수를  $f$ , 광속을  $c$ 로 나타내었을 때 식 (1)과 같다[5].

$$L = \frac{1}{2} * \theta / \left\{ \frac{f}{c} * 2\pi \right\} \quad (1)$$

위상 차 측정 방식 센서를 실제 환경에서 사용할 때는 목표와의 거리, 각도나 목표의 광학적 반사율 (대상에 입사한 레이저와 반사된 레이저 사이의 비율) 등 외부의 요인들로 인해 목표물에 반사되어 돌아오는 레이저의 Intensity(세기)가 줄어든다[11,12]. Intensity가 줄어든 레이저에서 얻은 신호는 그림 2(b)와 같이 위상 차 검출이 어려워지고, 이를 보완하기



(a) Phase difference between initial and reflected laser.



(b) Amplitude weakening of reflected laser.

그림 2. 발사 레이저와 반사 레이저의 특성.

Fig. 2. Character of initial and reflected lasers.

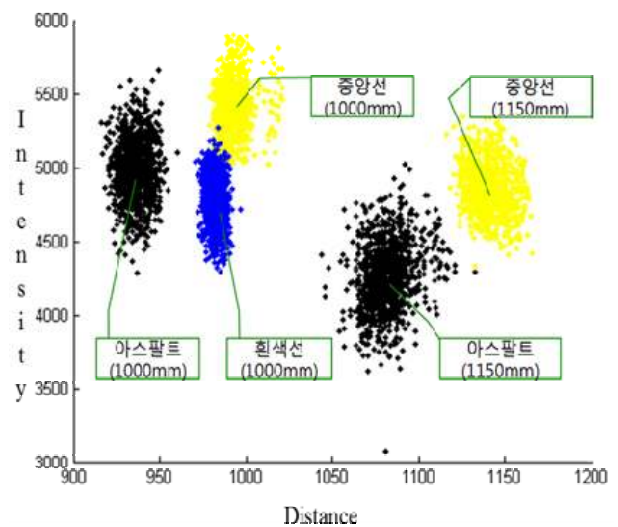


그림 3. 측정 데이터의 2차원 분포.

Fig. 3. 2-D plots of measured data.

위해 측정 기기는 신호를 해석하기 전 증폭시키는 프로세스를 수행하며, 이 과정에서 측정값의 오차가 발생한다[12].

그림 3은 측정 거리 1000mm와 1150mm에 센서를 고정된 상태로 중앙선, 차선, 아스팔트의 거리와 반사 레이저의 Intensity 측정값을 2차원 그래프에 표시한 것이다. 거리와 목표 각각의 반사율에 따라 측정값이 분포하는 범위와 위치가 달라짐을 확인할 수 있다.

## 2. 반사율에 따른 아스팔트와 중앙선 구분

측정 시 반사율에 따라 거리 측정값의 오차가 발생한다는 것을 반대로 응용하면 반사율이 측정 지점의 고유한 특성이란 전제 하에 측정값의 오차로부터 반사율을 유추하고, 이를 통해 어떤 특징을 가지는 대상인지 판단할 수 있다.

본 연구에서는 구분하고자 하는 대상이 아스팔트와 중앙선이므로, 먼저 측정 거리를 다르게 하면서 그에 따르는 반사 레이저의 Intensity 변화를 각각에 대하여 미리 측정하여 참고용 라이브러리를 작성한다. 이후 로봇의 주행 중 측정되는 거리와 반사 레이저의 Intensity 데이터가 라이브러리 자료에서 아스팔트와 중앙선 중 어떤 것과 큰 유사성을 보이는지 비교하여 해당 측정 지점을 중앙선과 아스팔트 중 하나로 판단하고, 이를 반영한 로봇의 주변 환경 지도를 그린다.

측정값이 어느 자료와 유사성이 큰 지 계산하는 데는 유클리드 거리(Euclidean distance), 민코스키 거리(Minkowski distance), 시티-블록 거리(city-block distance), 마할라노비스 거리(Mahalanobis distance) 등의 다양한 유사성 판별 기준을 사용할 수 있다. 여기에서는 거리 오차와 Intensity 데이터가 목표의 반사율에 함께 종속되어 있으므로, 변수들의 상관관계가 고려된 기준인 마할라노비스 거리(2)를 사용하였다[13].

$$D(x, y) = \{(\bar{x} - \bar{y})^T S^{-1} (\bar{x} - \bar{y})\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

이 때 본 실험에서  $x$ 는 센서가 측정하여 출력한 한 지점의 거리와 Intensity로 이루어진 2차원 데이터이다.  $y$ 는  $x$ 와 유사성을 비교할 데이터 집단의 거리와 Intensity 평균치로 이루어진 2차원 데이터이며,  $S$ 는 해당 집단의 데이터 분포를 나타내는 공분산행렬이다.

## III. 주행 환경 데이터 획득 실험

실제 실험에 있어서 센서의 측정 범위는 그림 4와 같이 나타나며, 고정 위치 실험에서는 스캔 범위를 좌우 2m로 고정 시키고(50cm높이의 경우 1m) 측정하였고 주행 실험에서는 센서 전방을 기준으로 좌우 45°씩 총 90°를 측정에 사용하였다. 두 실험 모두 측정 단위는 0.62°로, 최대 측정 범위인 90°에서는 1회 스캔 당 145개 지점의 데이터를 측정하였다. 측정 시 중앙선과 아스팔트의 구분은 중앙선과 아스팔트에서 생성한 각 측정 지점들의 거리-Intensity 2차원 라이브러리 데이터와 주행, 혹은 측정 중 획득한 거리-Intensity 데이터들 각각의 마할라노비스 거리를 계산함을 통해 아스팔트와 중앙선 중 가장 가까운 마할라노비스 거리를 가지는 집단으로 결정하였다. 환경 지도는 이들 마할라노비스 거리를 측정 지점 순으로 나열한 2개(중앙선 기준, 아스팔트 기준) 열 벡터의 차(중앙선 기준 거리 - 아스팔트 기준 거리)를 시간 순으로 쌓아 행렬을 생성하고 각 성분을 하나의 픽셀로 삼아 데이터

의 크기에 따라 클수록 밝게, 작을수록 어둡게 나타내는 것으로 시각화 하였다. 결과적으로 아스팔트로 측정된 곳은 그 차가 음수기에 검은 색에 가깝게 표현되고 중앙선으로 측정된 곳은 그 차가 양수이기에 하얀 색에 가깝게 표현되었다.

## 1. 고정 위치 실험 및 측정 기준 생성

고정 위치에서의 실험 및 측정 데이터 분석에 필요한 기준 생성은 2011년 02월 09일, 운량 5, 기온 -5.5°C의 외부 환경 조건에서 이루어졌다. 측정 방식은 그림 4와 같은 실험 장치에서 중앙 부분 측정 높이 0.5, 1, 2, 3, 4m로 각각 145, 145, 84, 58, 44개 지점을 측정하였다.

실험을 통해 다양한 측정 거리와 그때의 Intensity를 2차원 데이터로 획득할 수 있었고, 각 지점에 대한 200회의 측정을 통해 그림 5의 그래프를 획득할 수 있었다. 전체적으로 높은 Intensity 분포를 보이는 쪽이 중앙선의 측정 데이터이다. 분포 데이터를 따라 그려진 실선은 5차 선형 보간을 통해 나타난 경향성이다.

수집된 데이터를 샘플로 사용하여 중앙선을 스캔 범위 가운데에 두고 수행한 고정위치에서의 측정 데이터를 분석한 결과는 그림 6과 같다.

실험 결과, 중앙선과 아스팔트의 샘플 데이터에 있어 거리 측정값과 Intensity 값의 분포의 차이가 명확하지 않은 1000mm 근방, 혹은 미만의 거리에서는 많은 노이즈가 발생하였다.

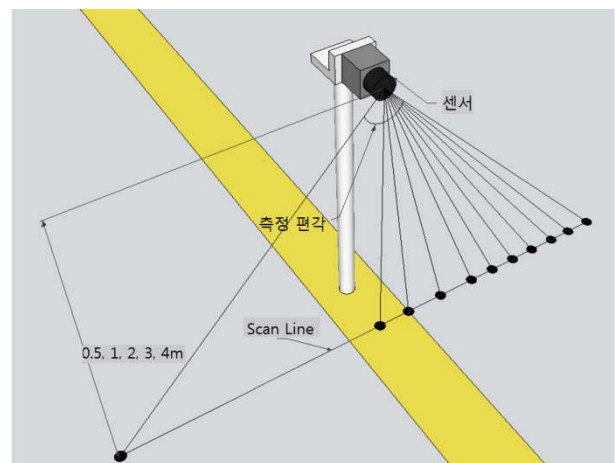


그림 4. 고정 위치 실험 모식도.

Fig. 4. Example of fixed position experiment.

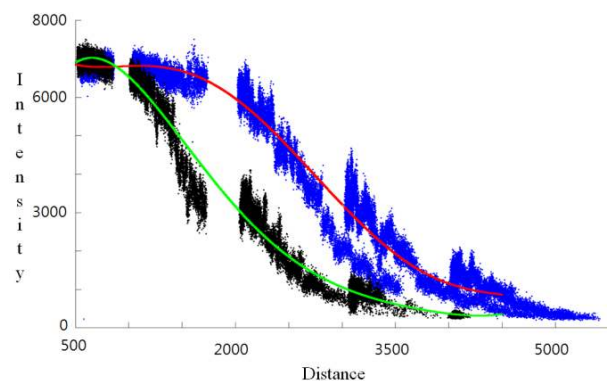


그림 5. 거리와 Intensity 관계 그래프.

Fig. 5. Plot of distance-intensity relation.

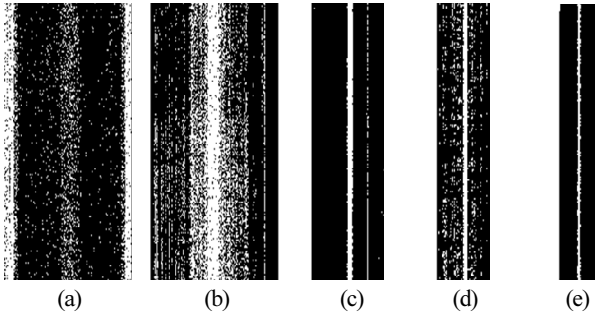


그림 6. 고정 위치 실험 결과: (a)-(e)까지 순서대로 500mm, 1000mm, 2000mm, 3000mm, 4000mm에서의 측정 결과.

Fig. 6. Result of fixed position experiment: From (a) to (e), the center distance increase like 500mm, 1000mm, 2000mm, 3000mm, 4000mm.

2. 주행 실험

주행 상황의 정보를 얻는 실험은 2010년 08월 16일, 운량 8, 기온 30.1℃의 외부 환경 조건에서 이루어졌다. 측정 방식은 그림 7(a), (b)와 같이 전방 1m 지점을 중심으로 좌우 2m, 총 145개 지점을 측정하도록 센서를 설치하였다. 주행은 그림 8(b)에 나타난 구간에서 중앙선을 따라 0.1m/s의 속도로 250sec 동안 이루어졌다. 로봇의 주행 속도는 주행 환경에 의해 결정되는 환경 지도의 필요 해상도(측정 단위 거리)에 따라 자유롭게 선택 가능하며, 센서의 스캔 주기에 비례하고, 필요 해상도에 반비례하는 관계를 가진다. 본 실험의 경우 측정 주기는 0.5sec로서 실험 환경을 고려하여 5cm 거리마다 측정이 이루어졌다. 측정 결과 총 500회의 스캔 데이터를 처리하여 환경 지도를 작성하였다.

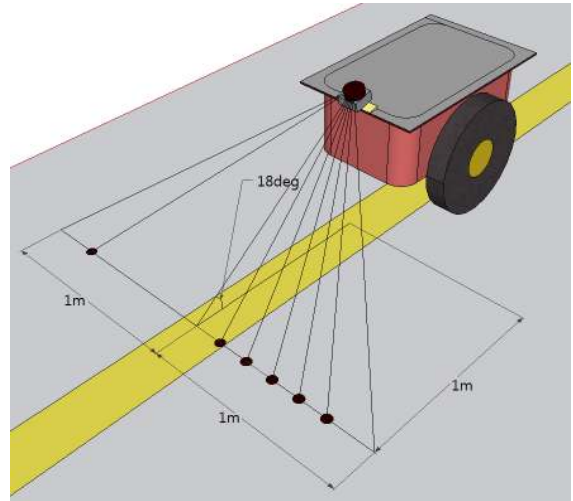
실험 결과는 그림 8(a)와 같이 나타났으며, 다소의 노이즈를 포함한 중앙선 위치를 나타내는 주행 환경 지도를 얻을 수 있었다. 동시에 그림 8(c)와 같이 주행 환경의 거리 데이터를 수집하여 주행 시의 입체적, 비입체적 환경 정보를 함께 수집할 수 있는 것을 확인하였다. 거리에 관한 환경 지도는 양쪽이 서로 대칭인 형상이기에 표시한 지도의 좌측을 스캔 범위의 중심으로 두고 스캔 범위의 오른쪽 데이터만 나타내었다. 그림 (c)의 왼쪽은 스캔 데이터를 측정 순서에 따라 쌓아서 환경 지도를 만든 것이다. X축은 스캔 범위이고 Y축 왼쪽은 데이터의 측정 순서이며, 오른쪽 막대는 각 픽셀의 거리를 표시한 척도이다. 왼쪽 그림 픽셀의 각각의 색이 막대의 위쪽에 가까울수록 먼 거리를 나타낸다.

3. 노이즈와 데이터 필터링

고정 위치와 주행 시의 실험에서 나타난 노이즈는, 주로 다른 부분에 비해 측정 거리가 짧은, 센서의 정면 부분에서 대부분이 확인되었다.

이러한 현상의 가장 큰 원인은 아스팔트와 중앙선의 기준 데이터가 측정 거리 1000mm 근방 또는 그 이하에서 뚜렷한 차이를 나타내지 않기 때문이다. 이는 센서의 특성에 의한 것으로, 측정 거리가 짧아지면 측정 지점의 반사율에 의한, 인식되는 반사 레이저의 세기 차이가 그리 크게 나타나지 않기 때문이다.

이를 보정하기 위하여 결과 데이터에 필터링(filtering)을 적용하였다. 필터링에는 가우시안 필터(Gaussian filter)와 2진



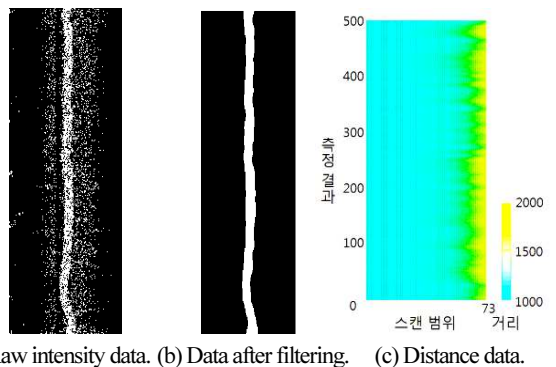
(a) Sensor setup and scanning line.



(b) Picture of experiment environment.

그림 7. 주행 실험 환경 모식도 및 사진.

Fig. 7. Running experiment setup.



(a) Raw intensity data. (b) Data after filtering. (c) Distance data.

그림 8. 주행 실험 결과.

Fig. 8. Experiment of running test.

화 필터를 사용하였다. 대표적인 저역 필터로(low-pass filter) 일차적인 노이즈 제거에 사용되는 가우시안 필터링에는 표준편차 5와 그 여섯 배의 크기(6σ)인 30의 행과 열을 가지는

마스크를 사용하였다. 2진화 필터링의 적용 기준은 가우시안 필터링이 적용된 지도 행렬의 상위 10%를 하얀색으로, 나머지를 검은색으로 나타내었다. 이는 중앙선의 너비가 20cm로 스캔 범위인 2m의 10% 영역을 차지하기에 중앙선을 하얀색으로 나타내기 위함이다.

그림 8(b)는 필터링을 완료한 후의 데이터이다. 그림에서 하얀색으로 나타난 부분이 중앙선의 위치를 의미한다. 그림 8(a), 즉 원본 이미지와 비교하였을 때 중앙선의 위치가 비교적 명확하게 드러남을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 위상 차 측정 원리를 이용한 레이저 거리 측정 센서에서 목표의 반사율이 측정 오차를 발생시킨다는 점을 이용하여 목표 지점의 반사율에 따라 도로 상의 중앙선과 아스팔트를 구분하는 방법에 관하여 다루었다. 고정 실험을 통해 데이터 처리에 필요한 판단 기준을 생성했으며, 주행 실험에서는 이 기준 데이터를 이용하여 중앙선을 검출함과 동시에 입체적 주변 환경과의 거리 데이터를 수집하여 환경 지도를 작성하였다. 본 방법은 위상 차 측정 방식을 사용하는 레이저 센서에 모두 적용 가능하다. 또한 특정 센서 제품에 한정되지 않으므로, 본 알고리즘은 센서의 스캔 주기와 주변 환경에 따라 사용할 수 있는 로봇의 주행 속도를 자유롭게 결정할 수 있다. 이를 이용하면 모바일 플랫폼의 도로 위 자동 주행 시 레이저 센서만으로 중앙선과 장애물 및 목표물의 상대적 위치 정보를 동시에 얻을 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] W. S. Wijesoma, K. R. S. Kodagoda, and A. P. Balasuriya, "A laser and a camera for mobile robot navigation," *Seventh International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV'02)*, Singapore, vol. 2, pp. 740-745, Dec. 2002.
- [2] K. Ohno, T. Tsubouchi, S. Maeyama, and S. Yuta, "Campus walkway following of an autonomous mobile robot based on color image," *Proc. of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'2000)*, vol. 3, pp. 1690-1695, Oct. 2000.
- [3] D. W. Lee, T. J. Lee, J. B. Song, J. H. Baek, and J. K. Ryu, "Curb detection and following in various environments by adjusting tilt angle of a laser scanner," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 16, pp. 1068-1073, Nov. 2010.
- [4] A. Bacha, C. Bauman, R. Faruque, M. Fleming, and C. Terwelp, "Odin: Team victor tango's entry in the DARPA urban challenge," *Journal of Field Robotics*, pp. 468-492, Aug. 2008.
- [5] M. Montmerlo, J. Becker, S. Bhat, and H. Dahlkamp, "Junior: The stanford entry in the urban challenge," *Journal of Field Robotics*, vol. 7, no. 9, pp. 468-492, Sep. 2008.
- [6] S. Suh, S. Lee, C. Roh, and S. Kang, "Autonomous navigation of KUVE (KIST Unmanned Vehicle Electric)," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 7, pp. 617-624, July 2010.
- [7] Hokuyo Automatic Co. Ltd., <http://www.hokuyo-aut.co.jp>
- [8] Acuity, <http://www.acuitylaser.com>
- [9] SICK, <http://www.sick.com>
- [10] E. Angelopoulou and J. R. Wright, Jr. "Laser Scanner Technology," GRASP Laboratory, University of Pennsylvania,

U. S., Report, no. PA 19104-6228, 1999.

- [11] H. Kawata, A. Ohya, and S. Yuta "Development of ultra-small lightweight optical range sensor system," *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3277-3282, Aug. 2005.
- [12] Kawata, H. Miyachi, K. Hara, Y. Ohya, and A. Yuta, S "A method for estimation of lightness of objects with intensity data from SOKUIKI sensor," *IEEE Int. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 661-664, Aug. 2008.
- [13] R. De Maesschalck, "The mahalanobis distance," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 50, pp. 1-18, Jan. 2000.



#### 정병진

2011년 성균관대학교 기계공학부(공학사). 2011년~현재 성균관대학교 기계공학부 석·박사통합과정 재학중. 관심분야는 Robotic manipulation, Active safe joint.



#### 박준형

2011년 현재 성균관대학교 기계공학부 재학중. 관심분야는 플랜트 기계 제어.



#### 김택연

2011년 성균관대학교 기계공학부(공학사). 2011년~현재 현대엔지니어링 화공 플랜트 사업본부 재직중. 관심분야는 Chemical plant control.



#### 김덕연

2011년 성균관대학교 기계공학부(공학사). 2011년~현재 현대자동차 재직중. 관심분야는 Vibration control.



#### 문형필

1996년 포항공과대학교 기계공학과(공학사). 1998년 포항공과대학교 기계공학과(공학석사). 2005년 University of Michigan, Ann Arbor, 기계공학과(공학박사). 2008년~현재 성균관대학교 기계공학부 조교수. 관심분야는 Robotic

manipulation, SLAM, Quadruped walking robot, Polymer-based sensors and actuators.