

레이저 스캐너를 이용한 장애물 탐색 및 분리 알고리즘 개발

論 文

57-4-21

Obstacle Detection and Classification Algorithm using a Laser Scanner

李 起 龍* · 洪 錫 教** · 左 東 京†

(Giroung Lee · Sukkyo Hong · Dongkyoung Chwa)

Abstract - This paper proposes algorithm for the obstacle detection and classification using a single laser scanner. In a measurement data from a laser scanner, there exist points with large differential value called singular points, which can be used to obtain the boundary of an obstacle such that obstacle information can be analyzed. On the other hand, measurement data include a lot of measurement error, which makes it difficult to analyze the accurate obstacle information. To solve this problem, the least square estimation algorithm is used to obtain the accurate information using a single laser scanner, by compensation for the measurement error. This algorithm can be used for the effective obstacle avoidance of mobile robots, and the experimental results are included to demonstrate the effectiveness of the propose algorithm.

Key Words : Laser scanner, Obstacle detection, Obstacle classification

1. 서 론

이동 로봇 시스템은 다양한 환경에서 주어진 목적지까지 안전하게 주행하는 것을 목표로 설계된다. 이 때 주행 환경은 크게 두 가지로 나뉘게 되는데, 하나는 미리 알고 있는 장애물이고 나머지 하나는 주행 중에 갑자기 탐지된 장애물이다. 이동 로봇은 주행 중에 탐지된 장애물을 안전하게 회피 주행하여 로봇 자신 및 로봇 주변을 지나가는 행인, 그리고 다른 물체와의 충돌을 피하여야 한다[7]. 최근엔 이러한 기능을 가진 많은 로봇들이 개발되고 있다. 이러한 로봇은 학문적인 연구 분야를 벗어나 실제 생활 속으로 들어가 많은 분야에서 응용되어 지고 있다. 특히 관공서나 병원, 터미널 같은 사람이 많은 곳에서 건물의 위치를 안내하는 로봇이나 특정 장애물을 뒤따라가는 로봇 시스템[5]은 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 로봇이 되고 있다.

이러한 이동 로봇 시스템이 사람의 생활과 가까워질수록 강조되고 있는 부분은 바로 안전에 대한 문제이다. 특히 육중한 무게를 가지고 있는 로봇이 주행 중에 지나가는 사람과 충돌한다면 큰 사고로 이어질 수 있다. 그렇기 때문에 이동 로봇을 제작함에 있어 주행 방향에 있는 장애물을 탐지하고 이를 회피 주행하는 능력은 매우 중요하다[9]. 로봇의 회피 주행을 위해 적외선 센서나 초음파 센서, 레이저 스캐너 등 추가적인 센서를 이용하는데 특히 레이저 스캐너의

경우 다른 센서보다 높은 정밀도 및 측정 거리를 보유하고 있어 많은 분야에서 사용되고 있다.

기존의 이동 로봇 시스템에서는 이러한 장애물 탐색 알고리즘을 위해 비전 센서를 많이 사용하고 있다. 이는 비전 센서가 다양한 정보를 취득할 수 있다는 장점과 레이저 스캐너보다 저렴하기 때문이다. 하지만 비전 센서의 경우 장애물의 정보를 정확히 파악하기 어렵고, 햇빛과 같은 외부 환경에 민감하게 반응하는 단점이 있다. 레이저 스캐너와 같은 거리 센서를 사용할 경우 장애물의 정확한 정보를 파악할 수 있지만, 동적 장애물이나 여러 개의 장애물이 겹쳐 있는 경우 측정 오차가 커진다는 단점이 있다. 또한 비전 센서에 비해 상대적으로 고가이기 때문에 시스템을 구축하는데 부담이 된다. 또한 기존의 레이저 스캐너를 이용한 장애물 탐색 알고리즘은 장애물이 놓여 있는 위치만을 계산하기 때문에 장애물이 겹쳐 있거나 여러 개의 장애물이 움직이는 경우 효율적인 탐지를 하기 어렵다[6].

장애물 탐색 알고리즘을 구현하기 위해서는 레이저 스캐너에서 얻은 데이터를 이용하여 탐색된 장애물의 위치 및 크기를 분석해야 한다. 기존의 연구에서는 스캔 데이터의 누적을 통해 데이터의 오차를 줄이거나 아니면 오차를 감안하여 알고리즘을 구현하였다[1]. 이 논문에서는 한 번의 스캔 데이터를 통해 최대한 오차를 줄이는 알고리즘을 사용하였다. 레이저 스캐너를 통해 얻은 데이터는 극좌표계 형식으로 나오는데, 이를 미분하여 얻은 그래프의 특성은 장애물의 요철의 특성을 나타낸다고 할 수 있다. 특히 장애물의 경계에서 미분 그래프의 값이 급격히 변하는 것을 볼 수 있는데 이를 통해 장애물의 경계 특이점을 파악하여 장애물의 위치 및 크기를 분석해 낼 수 있다. 따라서 이 논문에서는 레이저 스캐너를 이용한 기존의 연구에서 보여주었던 단점을 보완하는 장애물 탐색 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘을 기반

* 學生會員 : 亞洲大學 電子工學部 碩士課程

** 正 會 員 : 亞洲大學 電子工學部 教授 · 工博

† 교신저자, 正會員 : 亞洲大 電子工學部 助教授 · 工博

E-mail : dkchwa@ajou.ac.kr

接受日字 : 2007年 12月 26日

最終完了 : 2008年 1月 29日

으로 장애물의 미분 그래프의 특성을 파악하여 특이점을 산출, 산출한 특이점에서 장애물의 경계점을 나타내는 특이점만을 파악하는 과정을 통해 장애물의 위치 및 크기를 계산한다. 또한 측정 데이터에 있는 측정 오차를 보상함으로써 보다 정확한 장애물 정보를 분석할 수 있도록 한다.

2. 레이저 스캐너

이 논문에 쓰인 레이저 스캐너는 Hokuyo Automatic사에서 만든 URG-04LX이다. 이 레이저 스캐너는 -30°~210° 사이의 장애물을 측정할 수 있으며 약 0.36°의 분해능을 가지고 있다. 측정 데이터에 대한 분해능은 1mm이며 최대 5600mm까지 거리 측정이 가능하다. 또한 스캔 시간은 100ms이다.

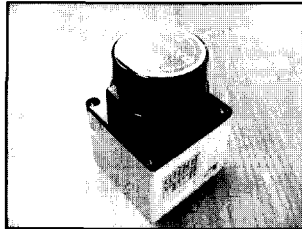


그림 1 URG-04LX 외형
Fig. 1 Appearance of the URG-04LX

스캐너의 동작은 호스트에서 스캐너로 정해진 커맨드를 전송하면 이에 해당하는 패킷을 다시 호스트로 전송하는 방식으로 이루어진다. 측정 데이터를 얻기 위해서 스캐너에게 MDMS라는 커맨드를 전송해야 하는데 이 커맨드 안에는 스캐너의 스캔 시작 스텝값과 스캔 끝 스텝값을 포함하고 있어야 한다. URG-04LX는 스캐너의 정면을 90°로 봤을 때 -45°을 시작으로 225°까지 스텝값을 0에서 768로 매긴다. 이것은 그림 2에서 확인할 수 있다.

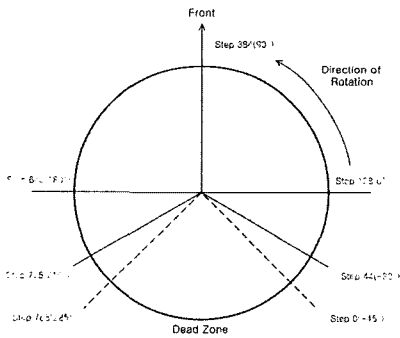


그림 2 레이저 스캐너의 측정 범위
Fig. 2 Measurement range of the laser scanner

하지만 데드 존을 제외한 측정 가능한 범위는 스텝 44(-30°)에서 스텝 725(210°)까지이다. 이 논문에서는 측정 범위를 0°에서 180°까지로 설정하였다. 레이저 스캐너에서 받은 측정 데이터는 각 스텝에 해당하는 거리값의 형태로 나오는데 각 스텝값과 각도 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$Degree = -135 + \frac{360}{1024} \times Step \quad (1)$$

스캐너에서 호스트로 전송되는 측정 데이터는 3개의 캐릭터(18 비트)가 한 쌍이 되어 한 스텝에 대한 거리값을 나타낸다. 아래의 <식 2>는 호스트로 전송된 임의의 값 (1, D,

h)에 대해 실제 거리값으로 변환되는 과정을 보여준다.

$$\begin{aligned} (1, D, h) &= (31h, 44h, 68h) \\ &\downarrow \text{Subtract (30h)} \\ (1h, 14h, 38h) &= (0000012, 0101002, 1110002) \quad (2) \\ &\downarrow \text{Add-up} \\ 0100110100102 &= 1234mm \end{aligned}$$

호스트로 전송된 3개의 캐릭터는 (31h, 44h, 68h)로 표현이 가능하며, 각각의 값에서 30h를 빼 (1h, 14h, 38h)가 된다. 이 값은 이진수로 변환되어 18개의 비트에 순차적으로 저장되어 000001010100111000으로 표현된다. 이 과정을 통해서 레이저 스캐너에서 받은 데이터는 각 스텝에 해당하는 측정 데이터 형태로 표현이 가능하게 된다.

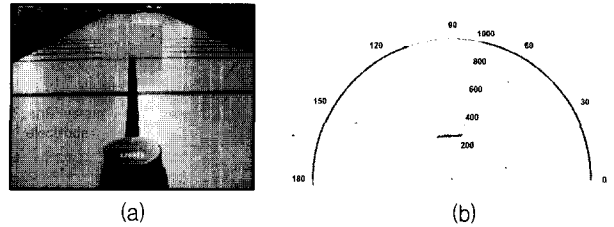


그림 3-(a) 스캐너 전방에 배치된 장애물
그림 3-(b) 극좌표계로 표시한 장애물의 측정 데이터
Fig. 3-(a) Obstacles placed in front of the scanner
Fig. 3-(b) Measured obstacle data represented by polar coordinates

3. 장애물 탐색 및 분리

3.1. 특이점을 이용한 장애물 분리

이 논문에서 제시하고 있는 장애물 탐색 알고리즘의 큰 특징은 레이저 스캐너를 통해 얻은 측정 데이터를 미분하여 특이점(Singular points)을 산출하며 그 특이점 중 장애물의 경계를 나타내는 경계 특이점만을 파악하여 장애물의 정보를 분석하는 것이다. 또한 측정 데이터에서 생기는 측정 오차를 최소 자승 추정법(Least square estimation)을 이용하여 오차에 대한 보상을 통해 장애물의 정보에 대한 신뢰성을 높여준다. 이 논문에서 제시하고 있는 장애물 탐색 및 분리 알고리즘은 크게 다음과 같은 과정을 거친다.

- (1) 레이저 스캐너를 이용하여 전방 장애물에 대한 측정 데이터 수집
- (2) 측정 데이터를 미분하여 특이점 산출
- (3) 특이점 소거를 이용한 장애물의 경계 특이점 산출
- (4) 최소 자승 추정법을 이용한 측정 오차 보상
- (5) 장애물 정보 분석

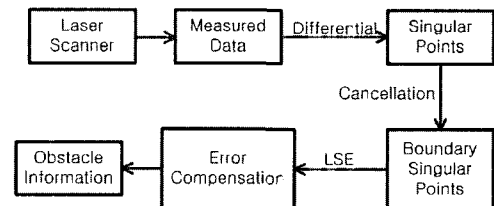
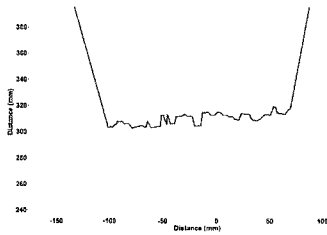


그림 4 장애물 분리 알고리즘 블록 다이어그램
Fig. 4 Block diagram of the obstacle classification algorithm

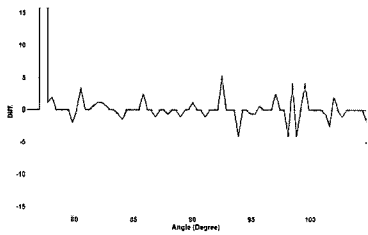
3.2 특이점

이 논문에서는 말하는 특이점이란 측정 데이터를 미분한

그래프에서 값의 부호가 바뀌는 지점을 말한다. 즉 미분 그래프의 값이 (-)에서 0 또는 (+)로 바뀌거나 아니면 (+)에서 0 또는 (-)로 바뀌는 지점을 말한다. 장애물의 시작과 끝을 나타내는 경계점에서 측정 데이터의 차이가 크게 나타나는데 이를 미분할 경우 미분값의 크기를 이용하여 경계점을 파악할 수 있기 때문이다. 즉 장애물을 요철로 생각한다면 장애물이 튀어나오는 지점을 미분을 이용하여 파악하는 것이다. 하지만 특이점은 장애물의 경계에서 산출될 수 있지만 측정 데이터에서 발생하는 오차에 의한 요철에 의해서도 산출될 수 있다. 실제로 측정 데이터를 살펴보면 많은 오차에 의해 요철이 발생하는 것을 볼 수 있다. 따라서 측정 데이터에서 특이점을 산출한 후 장애물의 경계를 나타내는 경계 특이점과 측정 오차로 나타나는 특이점을 구별하여 경계 특이점을 제외한 나머지 특이점을 소거하게 된다. 그림 5의 (a)는 전방에 위치한 장애물의 측정 데이터를 직각 좌표계로 표현한 것이며 (b)는 (a)의 측정 데이터를 미분한 미분 그래프이다.



(a) 측정 데이터
(a) Measured data



(b) 미분 그래프
(b) Differential graphic

그림 5 장애물 측정 데이터의 미분 그래프
Fig. 5 Differential graphic of the measured obstacle data

3.3 측정 데이터에서 특이점 찾기

특이점을 산출하기 위해 측정 데이터를 미분하기 전에 다음과 같은 문제에 대해 생각해 본다. 레이저 스캐너를 통해 얻은 측정 데이터는 측정 각도 θ 에 대한 거리값의 형태인 극좌표계로 나온다. 측정 데이터의 미분을 위해 극좌표계의 데이터를 x, y 에 대한 직각 좌표계로 변환하게 되면 스캐너와 수직으로 위치한 장애물의 경우 x 에 대한 y 의 값이 하나 이상 나와 x 에 대해서 미분을 할 수 없게 되는 경우가 생긴다. 즉 일대다 대응이 되어 미분이 불가능해진다. 또한 측정 데이터를 그대로 이용하여 극좌표계 형태로 미분을 하게 되면 장애물이 스캐너의 중앙에 평행하게 위치해 있다 하더라도 스캐너의 중앙(90°)에서는 거리값이 가장 짧게, 그리고 장애물의 경계에서는 측정값이 길게 나와 불룩한 타원 형태로 나오게 된다. 즉 미분을 위한 데이터의 기준이 각도에 따라 달라져 원래의 장애물 정보와 많은 오차가 발생하게 된

다. 따라서 이 논문에서는 각도에 따른 동일한 데이터의 기준을 마련하기 위해 다음과 같은 방법을 이용하여 측정 데이터를 미분하였다.

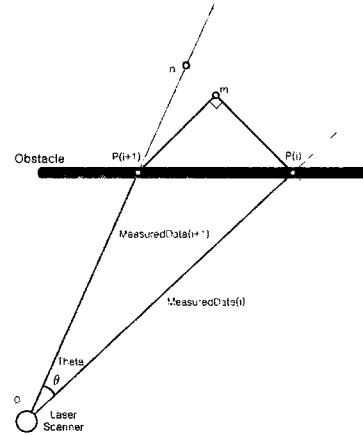


그림 6 측정 데이터의 미분
Fig. 6 Differential of the measured data

우선 레이저 스캐너에서 얻은 측정 데이터를 행렬로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \theta(i) \\ r(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -135 + \frac{360}{1024} \times i \\ MeasuredData(i) \end{bmatrix} \quad (3)$$

<식 3>에서 i 는 측정 데이터의 Step의 순서를 나타내면, $MeasuredData(i)$ 는 측정 데이터를 말한다.

그림 6에서 보듯이 장애물과 만나는 지점을 $P(i), P(i+1)$ 이라고 하고 $P(i)$ 지점에서 스캐너와 $P(i)$ 를 연결한 선분 $OP(i)$ 에 직각인 직선 $P(i)n$ 을 그린다. 그리고 $P(i+1)$ 에서 직선 $P(i)n$ 에 수직인 직선을 그려 만나는 점을 m 이라고 하면 $P(i)$ 에서의 미분값은 다음과 같이 정의한다.

$$P'(i) = \frac{\overline{P(i+1)m}}{\overline{P(i)m}} \quad (4)$$

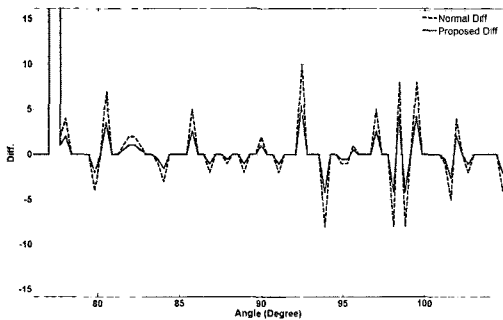
이런 방법으로 하면 각 점에서의 미분에 대한 기준이 같아지게 된다. 직선 On 과 직선 $P(i+1)n$ 의 거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \overline{On} &= \frac{MeasuredData(i)}{\cos(\theta)} \\ \overline{P(i+1)n} &= \frac{MeasuredData(i)}{\cos(\theta)} - MeasuredData(i+1) \end{aligned} \quad (5)$$

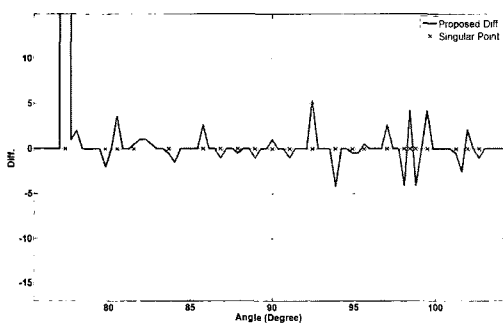
이 때 측정 데이터 사이의 θ 값은 $\frac{360}{1024}$ °로 항상 일정하기 때문에 상수로 생각할 수 있다. 삼각형 $P(i+1)P(i)m$ 에서 직선 $P(i+1)m$ 와 직선 $P(i)m$ 의 길이는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{P(i+1)m} &= \cos\left(\frac{360}{1024}\right) \times \left\{ \frac{MeasuredData(i)}{\cos\left(\frac{360}{1024}\right)} - MeasuredData(i+1) \right\} \\ \overline{P(i)m} &= \frac{MeasuredData(i)}{\cos\left(\frac{360}{1024}\right)} \times \sin\left(\frac{360}{1024}\right) \\ &\quad - \sin\left(\frac{360}{1024}\right) \left\{ \frac{MeasuredData(i)}{\cos\left(\frac{360}{1024}\right)} - MeasuredData(i+1) \right\} \\ &= \sin\left(\frac{360}{1024}\right) \times MeasuredData(i+1) \end{aligned} \quad (6)$$

그림 7-(a)에서 점선 그래프는 측정 데이터를 θ 에 대해 바로 미분한 그래프이며, 실선 그래프는 위의 식을 이용하여 구한 미분 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 미분 그래프의 값이 감소되어 있음을 볼 수 있다. 따라서 이를 통해 경계 특이점에 대한 분석을 원활히 할 수 있다. 위에서 구한 미분 그래프에서 구한 특이점은 두 가지로 구분하였다. 미분 그래프에서의 값이 (+)에서 0 또는 (-)로 바뀌는 지점의 특이점은 $Singular_L$, 그 반대로 미분 그래프의 값이 (-)에서 0 또는 (+)로 바뀌는 지점을 $Singular_H$ 라고 하였다. 이는 장애물이 앞으로 블록한지 뒤로 오목한지 구분해 주기 위해서이며, 이를 이용하면 단일 장애물을 측정하였을 때 장애물의 경계는 $Singular_L$ 에서 시작해 $Singular_H$ 로 끝나게 되는 것을 알 수 있다.



(a) 측정 데이터 미분 그래프
(a) Differential graphic of the measured data



(b) 특이점 판별
(b) Obtain the singular points

그림 7 미분 그래프에서 특이점 판별
Fig. 7 Obtain the singular points from the differential graphic

3.4 특이점 소거

3.3장에서 구한 특이점은 장애물의 경계뿐만 아니라 레이저 스캐너의 측정 오차 및 외부 환경으로 발생한 오차로 인해 생긴 작은 요철 또한 포함하고 있다. 따라서 이 중 경계를 나타내고 있는 경계 특이점만을 제외한 나머지 특이점은 소거해야 한다. 이렇게 특이점 소거를 통해 남은 특이점만이 장애물의 시작과 끝을 나타내는 특이점이라고 할 수 있다. 특이점을 소거하기 위해 장애물 경계 범위를 설정한다. 장애물 경계 범위란 측정 데이터 그래프에서 장애물의 경계로 판별하기 위한 최소한의 거리값을 말한다. 따라서 장애물 사이의 거리가 좁고 정밀한 장애물 분리를 하기 위해서는 장애물 경계 범위를 작게 설정하고 그렇지 않을 경우에는 값을 크게 설정한다. 이렇게 결정한 값은 <식 6>에 대입하는

데 이를 통해 얻은 값은 측정 데이터의 미분 그래프에서 경계 특이점 판별에 사용되는 경계 특이점 설정 범위값으로 쓰인다. 즉 미분 그래프에서 특이점이 발생하였으면 그 특이점이 발생한 거리에 해당하는 경계 특이점 설정 범위값을 구한 후 이를 특이점이 발생한 미분값과 비교하여 미분값이 크면 경계 특이점으로, 그렇지 않으면 특이점 소거를 한다. 그림 8은 장애물 경계 범위를 각각 10mm, 50mm, 100mm로 하였을 때 거리에 따른 경계 특이점 설정 범위값이다.

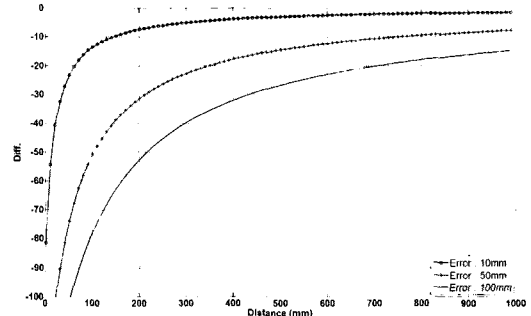
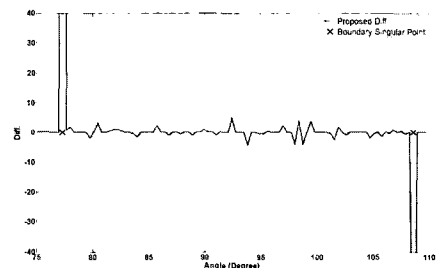
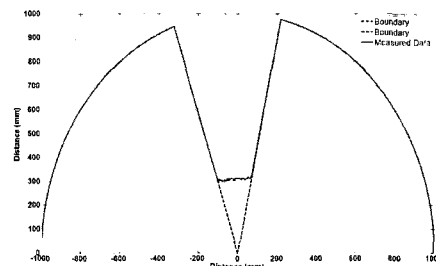


그림 8 특이점 소거를 위한 거리에 따른 경계 특이점 설정 범위값
Fig. 8 Set the range value of boundary singular points for the cancellation singular points

레이저 스캐너의 전방에 단일 장애물이 있을 경우 최종적으로 남은 특이점은 2개가 되며 $Singular_L$ 에 해당하는 특이점에서 장애물이 시작돼 $Singular_H$ 에 해당하는 특이점에서 장애물이 끝나게 된다. 이를 통해 장애물이 위치한 각도의 범위를 알 수 있다. 그림 9는 그림 7에서 구한 특이점을 특이점 소거를 이용하여 최종적으로 남은 특이점만을 표시한 것이다.



(a) 특이점 소거를 통해 남은 경계 특이점
(a) Boundary singular points after cancelling singular points



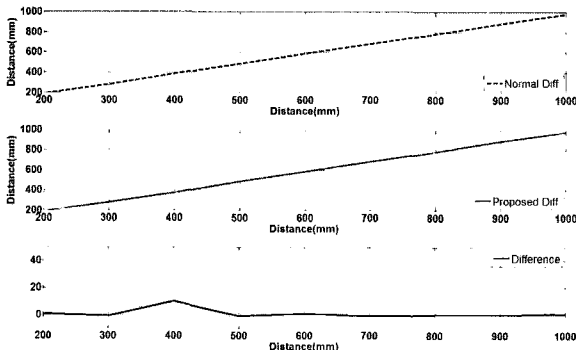
(b) 극좌표계로 표현한 장애물 경계 특이점
(b) Obstacle boundary singular point represented by polar coordinates

그림 9 경계 특이점 파악
Fig. 9 Obtain the boundary singular points

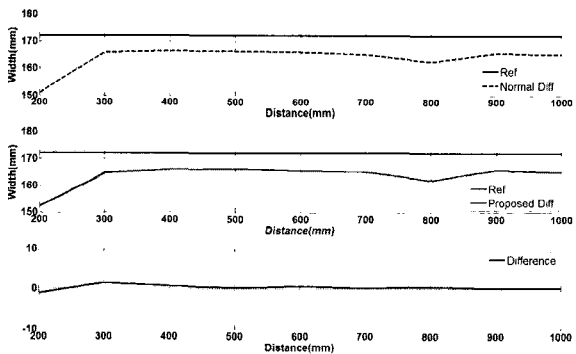
3.5 미분 방법에 따른 장애물 탐색 성능 비교

이 논문에서는 레이저 스캐너에서 얻은 측정 데이터를 <식 4>의 방법을 사용하여 미분하였다. 이는 3.3장에서 말했듯이 극좌표계로 얻은 측정 데이터는 특정 상황에서 직각 좌표계로 변환할 수 없는 경우가 생기며 또한 일반적인 형태로 미분하였을 경우 원래 장애물의 정보를 왜곡시킬 수 있기 때문이다. 따라서 이번 장에서는 일반적인 형태로 미분하였을 경우와 이 논문에서 제시한 미분법을 사용하였을 시 장애물 탐색 성능을 비교해 본다.

우선 길이가 172mm인 단일 장애물을 스캐너 전방에 200mm 부터 1000mm까지 100mm단위로 배치하였으며 이 때 두 미분법을 이용하여 경계 특이점을 파악하여 장애물의 거리와 크기를 분석해보았다.



(a) 장애물 거리 측정
(a) Measure the distance of obstacles



(b) 장애물 크기 측정
(b) Measure the length of obstacles

그림 10 미분 방법에 따른 장애물 측정 정보 비교
Fig. 10 Comparison measured obstacle data by method of differential

그림 10의 (a)는 미분 방법에 따른 장애물의 거리 측정 오차를 비교하였고 (b)에서는 미분 방법에 따른 장애물 크기 측정 오차를 비교해 보았다. 맨 위의 점선 그래프는 일반적인 미분 방법을 이용하여 장애물 정보를 분석한 것이고 두 번째 실선 그래프는 이 논문에서 제시한 미분법을 사용하여 장애물 정보를 분석한 것이다. 그리고 맨 아래 그래프는 두 미분 방법으로 얻어진 장애물 정보의 차이를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 두 미분 방법에 의해 계산된 장애물 정보에는 별 차이가 없음을 알 수 있다. 즉 미분 방법은 장애물의 거리 및 크기 측정에 영향을 미치지 않다는 것을 보여주고 있다.

다음에는 두 미분 방법이 경계 특이점 파악에 영향을 미치는지 알아보기 위한 실험을 하였다. 우선 장애물의 경계 특이점을 구하기 위한 장애물 경계 범위 값을 10mm에서 100mm까지 변화시켜가며 두 미분 방법을 사용하였을 경우 서로 앞으로 떨어져 있는 장애물을 분리해내는지 실험해 보았다.

표 1 미분 방법 차이에 의한 경계 특이점 분리
Table 1 Obtain the boundary singular points by method of differential

장애물경계범위 \ 거리	40(mm)	60(mm)	80(mm)	100(mm)
10	30	30	30	30
	30	30	30	30
20	40	40	40	40
	30	30	30	30
30	60	60	60	60
	50	50	50	50
40	80	80	80	80
	70	70	70	70
50	90	90	90	90
	80	80	80	80
60	100	100	100	100
	90	90	90	90
70	100	100	100	100
	90	90	90	90
80	110	110	110	110
	100	100	100	100
90	120	120	120	120
	110	110	110	110
100	130	130	130	130
	120	120	120	120

표 1은 두 개의 장애물을 레이저 스캐너에서 각각 40mm, 60mm, 80mm, 100mm 앞에 배치시켰을 때 장애물 경계 범위 값에 따른 장애물 분리 성능을 보여주고 있다. 즉 장애물 경계 범위 값에 따라서 두 장애물 사이가 어느 정도 떨어져 있을 때 두 장애물로 분리해서 인식하는지를 보여주고 있다. 각 장애물 경계 범위에서 위의 칸은 일반적인 미분 방법을 사용하였을 때 나온 결과이고, 아래 칸은 이 논문에서 제시하고 있는 미분 방법을 사용하였을 때 나온 결과이다. 표 1에서 보듯이 이 논문에서 제시하고 있는 미분 방법을 이용하여 경계 특이점을 구했을 경우 일반적인 미분 방법보다 평균 10mm 가까운 장애물까지 분리하고 있음을 보여주고 있다. 그림 11은 표 1의 결과를 그래프로 표현한 것이다.

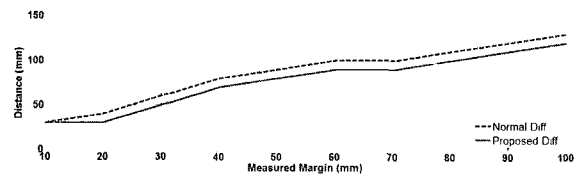
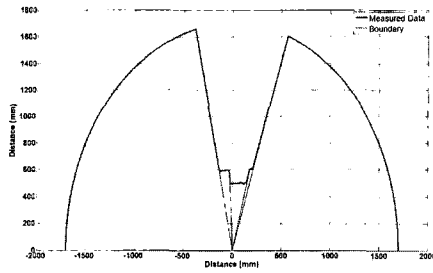
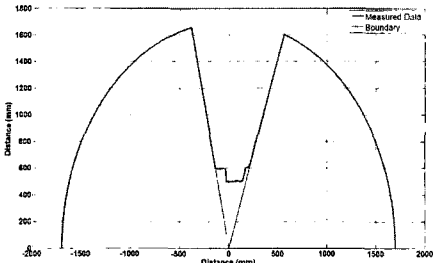


그림 11 미분 방법 차이에 의한 경계 특이점 분리 성능
Fig. 11 Performance obtainment of boundary singular points by method of differential

그림 12는 동일한 장애물을 다른 미분 방법을 이용하여 경계점을 분석했을 경우를 보여주고 있다.



(a) 논문에서 제시한 미분 방법
(a) Method of differential Proposed this paper



(b) 일반적인 미분 방법
(b) General method of differential

그림 12 미분 방법 차이에 의한 경계점 분리
Fig. 12 Classification boundary points by method of differential

3.6 장애물의 크기 및 위치 정보

장애물의 크기 및 위치 정보는 장애물의 경계 특이점을 이용하여 분석한다. 장애물의 위치 정보는 그림 13과 같이 장애물의 중점을 기준으로 구한다. 특히 장애물의 크기를 구하기 위해 장애물과 스캐너와의 각도를 계산하여 이를 이용한다. 장애물의 크기를 구하기 위해서는 장애물과 레이저 스캐너가 이루는 각도를 이용해야 한다. 하지만 측정 데이터의 오차로 인해 장애물의 각도를 알아내기는 상당히 힘들다. 따라서 이를 위해 3.7장에서는 장애물의 측정 데이터를 최소 자승 추정법을 이용하여 2차 방정식으로 근사화하여 이를 이용하여 장애물의 각도를 분석한다.

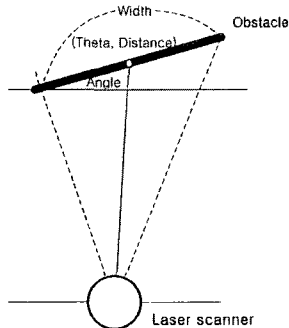


그림 13 장애물의 정보 분석
Fig. 13 Analysis of obstacles information.

3.7 장애물의 표면 정보

장애물의 표면 정보란 장애물 위치 및 크기, 각도, 표면의 굴곡 상태 등을 나타내는 것이다. 이러한 것들은 각각의 장애물에 대한 고유한 정보가 되어 다른 장애물과 구별할 수

있게 되는 것이다. 예를 들어 장애물의 표면이 하나의 직선으로 되어 있다면 이를 통해 장애물의 크기 및 각도가 가장 큰 정보가 되겠지만 장애물이 박스 형태로 되어 있어 두 개 이상의 직선으로 구성되어 있다면 각 직선의 크기 및 직선 사이의 각도를 구한다면 이를 통해 다른 장애물과 구별할 수 있는 중요한 정보가 된다. 따라서 장애물의 표면 정보를 구하기 위해선 동일 장애물 내에서의 측정 데이터를 최대한 단순화 시켜야 한다. 하지만 레이저 스캐너를 통해 나오는 측정 데이터는 측정 오차로 인해 아무리 단순한 직선을 측정한다 하더라도 단순하게 나오지 않는다. 따라서 장애물의 정보를 크게 손상시키지 않는 한도에서 최대한 표면을 단순화해야 한다. 그래서 이 논문에서는 위에서 구한 장애물의 정보를 이용하여 동일 장애물 내에서 최소 자승 추정(least square estimation) 알고리즘을 이용하여 이를 2차 방정식으로 근사화 하였다. 최소 자승 추정 알고리즘을 이용하여 얻은 데이터는 그림 14와 같다.

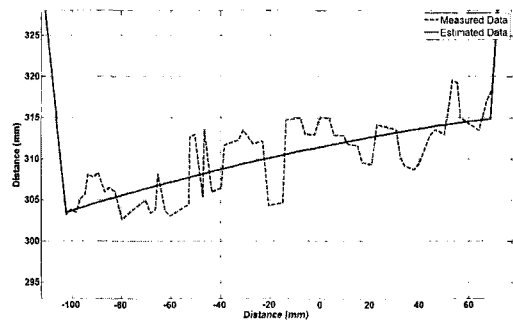


그림 14 최소 자승 추정법을 이용한 장애물의 표면 단순화
Fig. 14 simplification of obstacles surface using a LSE

4. 장애물 측정 오차 분석

레이저 스캐너는 적외선 센서나 초음파 센서 등 다른 센서에 비해 높은 정밀도 및 분해 능력을 가지고 있다. 하지만 실험 환경 조건에 따라 측정 오차가 발생하기도 한다. 레이저 스캐너의 측정 데이터에 오차가 발생하는 원인을 다음과 같이 세 가지로 나누어 보았다.

1. 가시 광선 및 조명에 의한 오차 발생
2. 장애물의 표면 재질 및 색상으로 인한 오차 발생
3. 장애물의 표면 굴곡 및 경계점에서의 레이저 난반사로 인한 오차 발생

표 2 장애물 표면 상태에 따른 측정 오차
Table 2 Measured error about the obstacles surface

장애물 표면상태	실제거리 (mm)	평균 측정 거리 (mm)	측정 오차(%)	실제길이 (mm)	평균 측정 길이 (mm)	측정 오차(%)
흰색	300	294.20	98.06	172	165.23	96.06
	600	588.20	98.00		170.60	99.19
빨간색	300	292.30	97.43	172	164.21	95.47
	600	585.40	97.57		168.50	97.97
검정색	300	286.50	95.50	172	100.23	58.27
	600	583.40	97.23		156.27	90.85
반짝이는 재질	300	259.20	86.40	172	162.49	94.47
	600	562.80	93.80		185.24	107.70

레이저 스캐너 전방 300mm와 600mm에 스캐너와 평행하게 길이가 172mm인 장애물을 위치시킨 후 장애물의 표면 상태를 다르게 하여 측정해 보았다. 표 2는 실험 결과를 보여주고 있다. 장애물의 표면 색상이 흰색일 경우 측정 데이터의 측정 거리 평균이 실제 값과 상당히 근접해 있으며 검정색 및 레이저의 난반사를 일으킬 수 있는 재질로 된 경우 측정 거리값의 오차가 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 또한 장애물의 측정 길이 또한 흰색에서 오차가 작게 나타나며 그밖에 검정색 및 반짝이는 재질에서는 크게 나타난 것을 볼 수 있다. 그림 15는 장애물 표면 상태에 따른 측정 데이터를 나타낸 그래프이다.

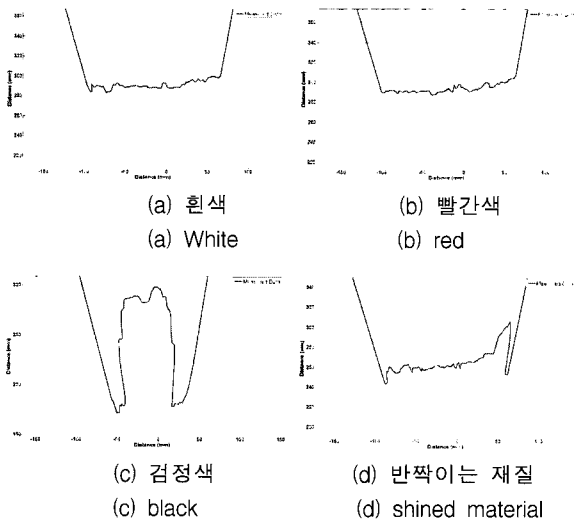


그림 15 장애물 표면 상태에 따른 측정 데이터 그래프
 Fig. 15 Graphic of measured data about the obstacles surface

이 밖에 장애물의 표면 상태를 다르게 하였을 경우 다양한 결과가 나타났다. 이 논문에서는 앞으로의 실험의 편의를 위해 측정 데이터의 오차가 적게 발생하는 흰색을 사용하여 장애물을 제작하였다.

측정 오차가 발생하는 세 번째 원인의 경우 장애물 경계점에 있는 모서리에 의한 레이저의 난반사로 인해 큰 오차가 발생하는데 이와 같은 측정 오차는 장애물의 위치 및 크기를 분석하는데 지장을 주게 된다. 따라서 장애물의 정보를 분석하기 전에 위와 같은 장애물 측정 데이터의 오차를 보상해야 한다. 측정 데이터의 오차를 보상하기 위해 크게 두 가지를 고려하였다. 첫 번째는 측정 데이터의 오차를 보상은 하되 장애물의 경계가 되는 지점의 측정 데이터의 변형은 최대한 배제하여 장애물의 크기를 분석하는데 오차가 생기지 않게 하는 것이고 두 번째는 측정 데이터의 오차를 보상하는 동시에 동일 장애물의 표면을 직선으로 이루어진 형태로 단순하게 만드는 것이다. 이는 장애물의 표면을 하나의 직선 내지는 두 개 이상의 고유한 각도를 지닌 직선으로 표현할 시 다른 장애물과 분류하기 편하기 때문이다.

측정 데이터의 오차를 보상하기 위해서는 우선 장애물의 거리에 따른 측정 데이터 오차에 대해 살펴본다. 우선 레이저 스캐너 전방에 장애물을 200mm에서 1000mm까지 100mm단위로 이동시키며 거리를 측정하였다.

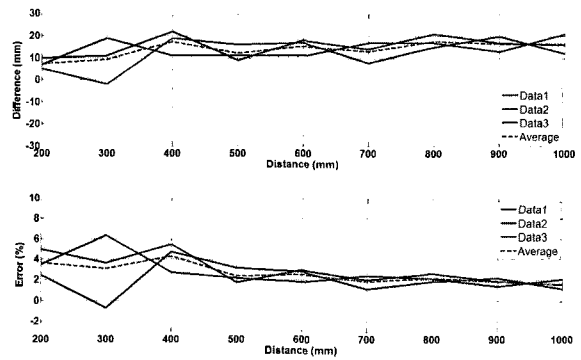


그림 16 거리에 따른 측정 데이터의 오차
 Fig. 16 Measured data error about the distance

그림 16은 거리에 따른 측정 데이터와 실측 데이터와의 차이를 표시한 그래프이다. 이 그림을 분석해보면 거리가 400mm까지 측정 오차가 조금씩 증가하다 400mm이후부터는 일정한 오차를 보이고 있음을 볼 수 있다. 이 때 200mm에서 나타나는 오차는 실제 레이저가 나가는 위치와 실측 거리를 재기 위한 시작점과의 오차라고 생각한다면 장애물의 측정 거리의 오차는 약 13.89mm로 나타난다. 따라서 위의 결과를 바탕으로 측정 데이터에서 발생한 측정 거리 오차를 보상한다.

5. 실험 결과

이번 장에서는 이 논문에서 제시한 알고리즘에 대한 타당성 및 성능을 검증하기 위해 여러 환경에서 실험을 수행하였다. 5.1장에서는 실험 환경에 대해 정의해 놓았으며 5.2장에서는 이 논문에서 사용하고 있는 측정 오차 보상에 의한 보상 능력에 대해 실험해 보았으며 5.3장에서는 미분 그래프를 이용하여 장애물의 경계를 추출하는 이 논문의 알고리즘이 얼마나 정확성을 갖는지 실험해 보았다.

5.1 실험 환경

레이저 스캐너는 실험 환경에 따라 상이한 결과를 나타낸다. 따라서 효율적인 실험을 위해 실험 환경을 통일해야 할 필요성이 있다. 특히 실험 위치(실내, 실외) 및 장애물의 표면 상태에 따른 오차는 크게 난다. 따라서 이 실험은 다음과 같은 환경에서 하기로 한다.

- 실험장소 : 형광등이 있는 실내
- 장애물 : 실제 주행 환경과 비슷하게 하기 위해 사람용 장애물로 위치

5.2 측정 오차 보상 실험

크기가 172mm인 장애물을 200mm에서 1000mm까지 100mm단위로 이동시키면서 오차 보상을 사용하지 않았을 때의 장애물 측정 거리와 오차 보상을 사용하고 난 뒤의 장애물 측정 거리를 비교해본다. 그림 17에서 맨 위의 그래프는 오차 보상을 하지 않았을 때 실제 거리와의 차이를 나타내고 있으며, 가운데 그래프는 오차 보상 후에 실제 거리와의 차이를 보여주고 있다. 그리고 맨 하단의 그래프는 오차 보상 전과 후의 측정 거리 차이를 비교하여 보여주고 있다. 그림 17에서 보는 바와 같이 오차 보상 후에 실제 거리와 측정 거리의 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다.

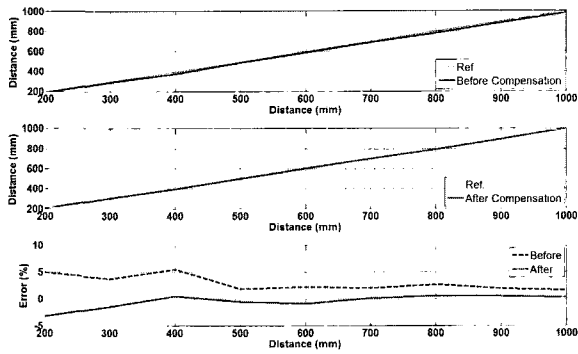


그림 17 실제 거리와 측정 거리 사이의 차이
Fig. 17 Difference between the real data and measured data

다음은 장애물의 위치 각도에 대한 보상 전과 후의 차이에 대한 실험을 해본다. 레이저 스캐너 전방 300mm 앞에 장애물을 위치시킨 후 0°에서 90°까지 10°단위로 장애물을 위치시킨 후 이를 측정하였을 때 오차 보상 전과 후의 각도를 비교해 본다. 그림 18에서 맨 위의 그래프는 오차 보상을 하지 않았을 때 실제 위치 각도와와의 차이를 보여주고 있으며 가운데 그래프는 오차 보상 후에 실제 위치 각도와와의 차이를 보여주고 있다. 그리고 맨 하단의 그래프는 오차 보상 전과 후의 측정 각도 차이를 비교하여 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 오차 보상 후에 실제 위치 각도와 측정 위치 각도 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다.

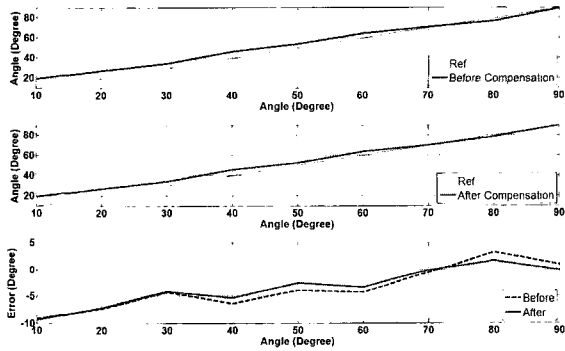


그림 18 실제 위치 각도와 측정 위치 각도 사이의 차이
Fig. 18 Difference between the real location angle and measured location angle

5.3 장애물 탐색 실험

다음은 이 논문에서 제시하고 있는 장애물 분리 알고리즘의 효율성을 살펴보기 위해 장애물의 경계 특이점 파악 실험을 하였다. 레이저 스캐너 전방에 임의의 장애물을 배치한 뒤 이를 완벽히 분리해 낼 수 있는지 실험해 본다.

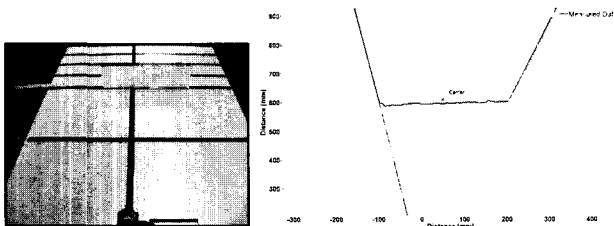


그림 19 장애물 분리 실험(1)
Fig. 19 Experiment of obstacles classification(1)

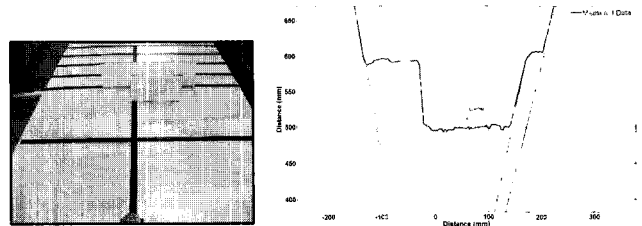


그림 20 장애물 분리 실험(2)
Fig. 20 Experiment of obstacles classification(2)

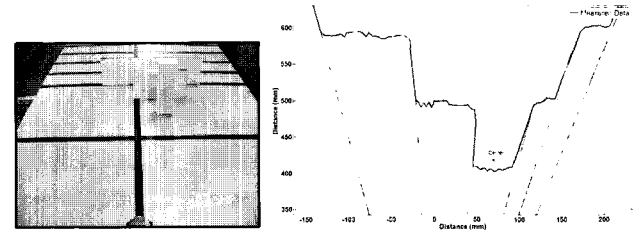


그림 21 장애물 분리 실험(3)
Fig. 21 Experiment of obstacles classification(3)

다음은 이동 로봇 전방에 사람을 위치시킨 후 경계 특이점 오차값을 변경시켜 실험하였다. 측정 거리 범위는 10~5000mm로 하였으며 첫 번째 실험에서는 경계 특이점 측정 오차를 15mm로 설정하였고 두 번째 실험에서는 경계 특이점 측정 오차를 100mm로 설정하였다.

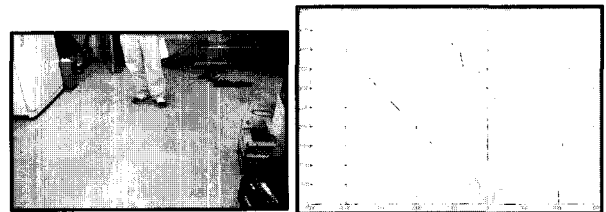


그림 22 측정 오차를 15mm로 설정한 측정 결과
Fig. 22 Measurement result set the measured error at 15mm

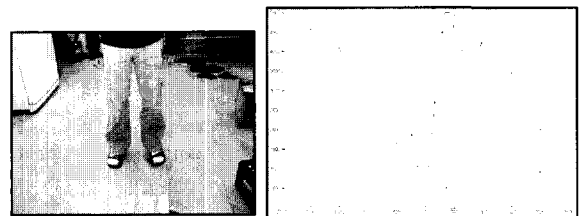


그림 23 측정 오차를 100mm로 설정한 측정 결과(1)
Fig. 23 Measurement result set the measured error at 100mm(1)

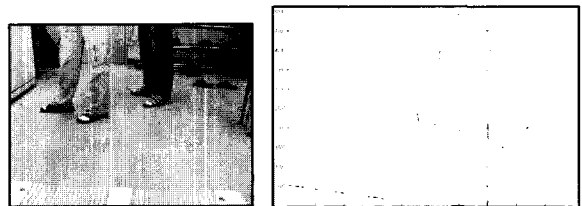


그림 24 측정 오차를 100mm로 설정한 측정 결과(2)
Fig. 24 Measurement result set the measured error at 100mm(2)

위의 실험을 통해 장애물의 경계 특이점을 파악해 장애물을 탐색 및 분리할 수 있음을 보여주고 있다. 그림 20에서와 같이 장애물의 표면이 단순한 경우 뿐만 아니라 그림 22처럼 표면이 복잡한 장애물도 측정 오차를 조절하여 탐색 및 분리가 가능하다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

이동 로봇 시스템은 안전한 주행을 위해서 여러 센서들을 부착해 주행 방향에 있는 장애물을 탐색하여 이를 회피 주행한다. 기존의 연구는 이러한 장애물 탐색 알고리즘을 구현하기 위해 비전 시스템을 주로 사용하였다. 이에 반해 레이저 스캐너의 경우 비전 시스템을 보조하는 역할에 치우치고 있다. 비전 센서의 경우 레이저 스캐너보다 다양한 정보를 취득할 수 있다는 장점이 있지만 장애물의 정확한 정보를 파악하기 어렵다는 단점이 있다. 레이저 스캐너와 같은 거리 센서는 장애물의 정확한 정보를 파악할 수 있지만 동적 장애물이나 감지하기 어려운 물체 및 여러 장애물이 겹쳐 있는 경우 오차가 커진다는 단점이 있다. 따라서 이 논문에서는 이러한 레이저 스캐너의 단점을 보완하기 위해 미분 방정식을 이용한 장애물 탐지 알고리즘을 제안하였다. 또한 최소 자승 추정법을 이용하여 탐색된 장애물의 정보의 정확성을 향상시켰다. 이를 통해 최근에 연구되고 있는 비전 센서와 거리 센서의 융합을 통한 장애물 탐색에서 레이저 스캐너만을 사용하여 장애물 탐색 알고리즘을 구현할 수 있는 가능성을 보였으며, 또한 여러 대의 레이저 스캐너를 이용하지 않더라도 만족할만한 장애물 탐색 능력을 보여줄 수 있음을 보였다. 이 알고리즘을 통해 전방의 장애물에 대한 정확한 탐색이 가능해진다면 이를 통해 이동 로봇의 회피 경로 생성에 많은 도움이 될 것이다. 따라서 앞으로 이러한 장애물 탐색 알고리즘을 사용하여 효율적인 장애물 회피 주행이 가능한지 검증해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 R01-2006-000-11373-0 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 김성철, 강원찬, 김동욱, 서동진, 고낙용, "레이저 스캐너 센서를 이용한 이동 로봇의 지역 장애물 회피 방법", 대한전기학회, Vol. 51, pp 155~160, 2002
- [2] 박재홍, "향상된 무인차량 원격제어 시스템 설계", 한국자동차공학회 2005년도 전기·전자, ITS 부문 Symposium, pp. 113~119, 2005
- [3] 조규상, "스캔코드법을 이용한 이동로봇의 장애물 회피", 대한전기학회, pp 2856~2858, 2000
- [4] Andreas Ewald, Volker Willhoeft, "Laser Scanners for Obstacle Detection in Automotive Applications", Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2000
- [5] J. L. Martinez, A. Pozo-Ruz, "Object Following and obstacle Avoidance Using a Laser Scanner in the Outdoor Mobile Robot Auriga-a", Proc. of the 1998 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robot and System, 1998

- [6] Kostas J. Kyriakopoulos, Nikos Skounakis, "Moving Obstacle Detection for a Skid-Steered Vehicle Endowed with a Single 2-D Laser Scanner", Proc. of the 2003 IEEE International Conf. on Robotics & Automation, 2003
- [7] Kay Fuerstenberg, Volker Willhoeft, "Object Tracking and Classification using Laserscanners-Pedestrian Recognition in urban environment", 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, 2001
- [8] R.carrelli, R. Kelly, O. H. Nasisi, C. Soria and V. Mut, "Control based on perspective lines of a non-holonomic mobile robot with camera-on-board", International Journal of Control, Vol. 79, pp. 362, 2006
- [9] Won-Jong Sohn, Keum-Shik Hong, "Moving Obstacle Avoidance Using a LFR Sensor", SICE-ICASE International Joint Conference, 2006
- [10] Michael Skuttek, Dirk T. Linzmeier, Nils Appenrodt, Gerd Wanielik, "A PreCrash System based on Sensor Data Fusion of Laser Scanner and Short Range Raders", 2005 IEEE International Conference on Information Fusion, pp. 1287~1294, 2005
- [11] Christopher Tay Meng Keat, "Vehicle Detection and Car Park Mapping Using Laser Scanner", Intelligent Robots and Systems, pp 2054~2060, 2005

저 자 소 개



이 기 룡 (李 起 龍)

1979년 6월 9일생. 2006년 아주대학교 전자공학과 졸업. 2006년~현재 동 대학원 전자공학과 석사과정
Tel : +82-31-219-2489
E-mail : leegr007@ajou.ac.kr



홍 석 교 (洪 錫 敎)

1948년 8월 23일생. 1971년 서울대 전기공학과 졸업. 1973년 동 대학원 석사. 1981년 동 대학원 박사. 1976년~현재 아주대학교 전자공학부 교수
Tel : +82-31-219-1815
E-mail : dkchwa@ajou.ac.kr



좌 동 경 (左 東 京)

1971년 12월 23일생. 1995년 서울대 제어계측공학과 졸업. 2001년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(공학). 2005년~현재 아주대 전자공학부 조교수
Tel : +82-31-219-2478
E-mail : skhong@ajou.ac.kr