

2차원 레이저 스캔을 이용한 로봇의 산악 주행 장애물 판단

Obstacle Classification for Mobile Robot Traversability using 2-dimensional Laser Scanning

김민희* 곽경운* 김수현*
Min Hee Kim Kyung Woon Kwak Soohyun Kim

Abstract

Obstacle detection is much studied by using sensors such as laser, vision, radar and ultrasonic in path planning for UGV(Unmanned Ground Vehicle), but not much reported about its characterization. In this paper not only an obstacle classification method using 2-dimensional LMS(Laser Measurement System) but also a decision making method whether to avoid or traverse the obstacle is proposed. The basic idea of decision making is to classify the characteristics by 2D laser scanned data and intensity data. Roughness features are obtained by range data using a simple linear regression model. The standard deviations of roughness and intensity data are used as measures for decision making by comparing with those of reference data. The obstacle classification and decision making for the UGV can facilitate a short path to the target position and the survivability of the robot.

Keywords : Traversability(주행성), Range Feature(거리 형상), Roughness(거칠기), Intensity(빛의 반사 강도)

1. 서론

우리나라 국토는 70% 이상이 산악지형으로 산악지형에 적용 할 수 있는 자율주행 연구가 더욱 중요해지고 있다. 현재 로봇이 목적지까지 안전하고 효율적으로 이동하는 기술은 주로 실내 환경이나 도로 등의 비교적 단순한 환경에 적용되고 있으며, 이에 비해 산악지형에 적합한 경로계획과 장애물 회피 알고리즘은 매우 복잡하고 구현이 어려워 실제 적용에 많은 어려움이 있다. 그래서 현재 개발되어 전장에 투입되고 있

는 iRobot 사의 PackBot 같은 군사용 로봇은 리모컨(조작기)을 이용하여 외부에서 로봇을 조종하는 방식을 사용하고 있다. 그러나 리모컨으로 로봇을 조작하는 것은 전장지형의 특성과 통신거리 등 전장의 불확실한 상황을 고려하면 자율주행 알고리즘이 탑재되어 스스로 목적지까지 정확하고 효율적으로 이동 할 수 있도록 하는 방향으로 발전해야 할 것이다.

복잡한 산악지형에서 로봇의 자율주행 기술을 이용하여 목표지점까지 이동하기 위해서는 다양한 센서를 이용하여 장애물을 회피하거나, 극복 할 수 있어야 한다. 군사용 로봇의 중요한 임무 중 하나는 전장 지역의 지형 정보나 적의 정보를 수집하기 위한 정찰 임무이다. 정찰병의 임무를 대신하는 정찰로봇은 적에게 노출되지 않고 적과의 접촉을 피하면서 은밀한 방법

† 2011년 9월 9일 접수~2012년 1월 27일 게재승인

* 한국과학기술원(KAIST)

책임저자 : 김민희(iaminhee@kaist.ac.kr)

으로 이동해야 한다. 즉, 산악지형에서 정찰 임무를 수행 할 때 도로나 소로를 이용하지 않고, 은폐업체가 가능한 장애물(나무, 바위, 풀 등)을 통해 이동하는 것이 로봇의 생존성을 훨씬 향상 시킬 수 있다. 또한 산악지형에서 군사용 로봇의 생존성을 보장하면서 빠른 시간 내에 목표 지점까지 이동하여 임무를 완수하기 위해 장애물 탐지에 적합한 센서를 활용하여 산악 장애물을 탐지하고, 로봇이 피해야 하는 장애물과 통과 할 수 있는 장애물을 구분하는 알고리즘의 개발이 필요하다. 현재까지는 장애물을 회피하거나 인식하는 연구들이 많이 진행되었지만 본 논문에서는 장애물을 분류하는 새로운 방법을 제안한다.

산악 장애물을 탐지하고 식별하기 위해 다양한 센서를 사용 할 수 있지만 군사용 로봇의 경우 정확한 거리 정보를 얻을 수 있고, 전투상황에서 산악지형 장애물의 신속한 탐지와 정보처리가 가능하며 적은 전력소비, 가벼운 무게, 빠른 데이터 처리 속도를 제공하는 레이저 스캐너^[1]를 본 연구에서 활용하였다. 산악지형은 매우 많은 장애물이 존재하므로 레이저 스캐너를 이용하여 모든 장애물을 식별 할 수는 없다. 본 연구에서는 정찰용 로봇이 통과 할 수 있는 부드러운 초질(草質)의 장애물인 풀, 갈대를 구분하는 것에 초점을 맞추어 대표적인 산악장애물을 분류한다. 레이저 스캐너는 장애물까지 거리 정보를 제공해 주기 때문에, 풀과 갈대 뿐 아니라 모든 탐지되는 물체를 장애물로 판단하여 회피하게 될 것이다. 그러나 본 연구에서 제안하는 알고리즘을 적용하면 부드러운 장애물을 UGV가 회피하지 않고 극복하며 주행 할 수 있다. 주행 가능한 장애물을 판단하는 기본 아이디어는 레이저 스캐너로부터 얻은 거리 형상이 분산적으로 나타낸다는 점에 착안하여 획득한 거리정보에 거칠기 정보를 이용한 알고리즘을 적용한다. 또한 레이저 스캐너에서 제공하는 빛의 강도 정보를 이용하여 주행성 판단의 정확도를 향상 시킬 것이다.

2. 주행성 판단

로봇이 주행 가능한 초질(草質) 형태의 산악 장애물은 불규칙한 형상 때문에 레이저 센서의 거리정보가 불규칙하게 나타날 것으로 예상하였다. 실제 장애물을 탐지한 거리정보 형상은 Fig. 1과 같다. 나무의 경우 장애물 형상의 영향으로 센서에서 측정된 거리 값은

거의 연속적인 값이 나타나지만, 풀의 경우 형상과 위치가 불규칙적이므로 얻은 정보들이 불규칙한 분포가 나타난다. 이와 같은 특성을 기본으로 레이저 스캐너로 측정된 거리정보를 이용하여 구간별 1차 회귀직선과 거리정보와의 편차를 이용한 거칠기(roughness)값을 산출하여 장애물의 주행가능성을 판단하였다.

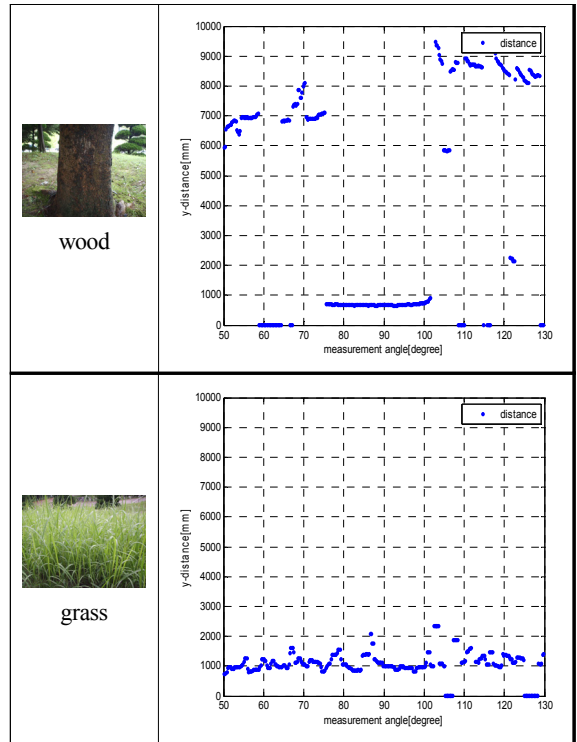


Fig. 1. distance information of laser scanner

가. 실험 조건

알고리즘의 구현을 위해 실험에 적용된 로봇의 크기는 너비 70cm, 길이 70cm, 높이 40cm 이고 아커만(Ackerman) 차량으로 가정하였다. 레이저 스캐너의 최소 탐지거리는 로봇이 장애물과 충돌하지 않기 위해 센서가 장애물을 탐지해야 하는 최소거리로써 아커만 차량의 최소 회전반경(minimum turning radius)을 이용하여 계산한다. 최소 회전반경은 최대 조향 각도로 선회했을 때 그려지는 동심원 중에서 가장 바깥쪽 바퀴가 그리는 원의 반지름(R)을 의미하며 식 (1)과 같다.

$$R = \frac{L}{\sin\theta} = \frac{35\text{cm}}{\sin 30^\circ} = 70\text{cm} \quad (1)$$

L은 실험에 적용된 로봇의 축간거리로 앞바퀴 차축의 중심에서 뒷바퀴 차축의 중심까지 거리이며 Θ 는 로봇의 최대 조향각도이다. 최소 회전반경을 기준으로 계산된 로봇의 최소 탐지 거리는 70cm 이다. 본 연구는 로봇이 탐지한 장애물의 주행 가능성을 판단하는 것이므로 Fig. 2와 같이 로봇의 주행방향 정면을 고려하여 로봇의 너비에 로봇의 안전거리 20cm를 추가하여 로봇의 탐지 거리(path width)를 90cm로 설정하고, 그에 따른 센서의 스캐닝 각도를 $50^\circ \sim 130^\circ$ 로 한정한다.

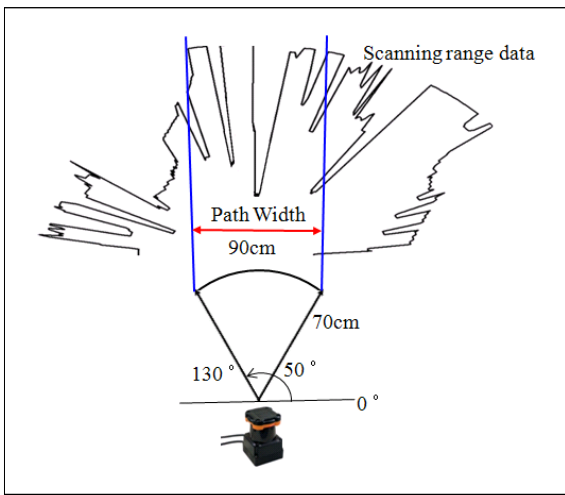


Fig. 2. path width of the robot

나. 거칠기(roughness) 알고리즘

본 연구에서 주행 가능한 장애물을 판단하는 기준으로 거칠기 알고리즘^[2]을 이용하였고 탐지 장애물의 특성을 더욱 정확하게 반영하기 위해 1차 회귀직선에 적합한 구간의 크기를 유연하게 적용하였다. 거칠기 알고리즘은 다음과 같이 정의할 수 있다.

스캐닝 각도 $\Phi_i \in [50^\circ, 130^\circ]$ 와 거리 측정값 d_i 는 레이저 스캔 값 $PL(\Phi_i, d_i)$ 의 집합으로 표현한다. PL은 레이저 스캐너의 극 좌표계이며 i 는 전체 스캔 각도 (80°)의 Angular Resolution 0.25° 를 고려하여 $1 \sim 321$ 개의 값을 갖는다. 거칠기를 계산하기 위해 PL을 극 좌표계 $PL(\Phi_i, d_i)$ 에서 직교 좌표계 $P(x_i, y_i, z_i)$ 로 변환한다. 여기서 x 는 로봇의 수평방향, y 는 로봇이 주행하는 방향, z 는 로봇의 수직 방향을 나타내며 본 연구에서 로봇의 수직방향 z 값은 무시한다. 센서에서 획득한 $PL(\Phi_i, d_i)$ 과 $P(x_i, y_i)$ 의 관계는 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} x_i &= d_i \cos \phi_i \\ y_i &= d_i \sin \phi_i \end{aligned} \quad (2)$$

거칠기를 얻기 위해 연속된 점 $PL(\Phi_i, d_i)$ 의 구간 크기 $2m+1$ 을 결정해야 하는데, 구간별 1차 회귀직선의 피팅(fitting)을 위해 $2m+1$ 은 적어도 3이상인 연속적인 점을 다음과 같이 선정한다.

$$P_{i-m, i+m} = \left\{ \begin{array}{l} P_i \in P \mid i-m \leq i \leq i+m \\ 2m+1 \geq 3 \end{array} \right\} \quad (3)$$

선정된 구간내의 연속한 점 $P_{i-m, i+m}$ 에서 최소자승법을 이용하여 1차 회귀직선을 x - y 평면상에서 피팅한다. 이 때 $P_{i-m, i+m}$ 의 구간 크기는 동일하지만, 구간의 중심 좌표 P_i 는 1씩 증가한다. 즉, $P_i (i=1 \sim 321)$ 는 $P_{i-m, i+m}$ 의 중심좌표로 P_i 의 좌우측 구간 크기는 각각 m 이므로 전체 구간의 크기는 $2m+1$ 이 된다. 또한, i 가 증가하면 중심좌표 P_i 를 기준으로 1차 회귀직선의 구간 좌표가 변하기 때문에 중심좌표 P_i 에서 획득한 R_n 은 인접한 장애물의 거칠기 특성이 반영 된다는 장점이 있다. 1차 회귀직선을 구하는 식은 식 (4)와 같다.

$$L_n = \left\{ \begin{array}{l} \hat{y} = a_n + b_n x_i, \quad a_n = \bar{y} - b_n \bar{x} \\ b_n = \frac{\sigma_{xy}^2}{\sigma_{xx}^2} \\ \sigma_{xy}^2 = \frac{1}{i-m} \sum_{i-m}^{i+m} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\ \sigma_{xx}^{-2} = \frac{1}{i-m} \sum_{i-m}^{i+m} (x_i - \bar{x})^2 \end{array} \right\} \quad (4)$$

단, 식 (4)에서 $i \leq m$ 이면 1차 회귀직선이 계산되는 구간은 $[1, i+m]$ 이고, $i \geq 321-m$ 면 $[i-m, 321]$ 이 된다. 식 (4)에서 계산된 1차 회귀직선의 y 와 로봇의 주행방향 거리정보인 y_i 값의 편차의 크기를 식 (5)와 같이 거칠기 R_n 으로 정의한다.

$$R_n = |\hat{y} - y_i| = |(a_n + b_n x_i) - y_i| \quad (5)$$

1차 회귀직선은 $2m+1$ 구간의 크기에 따라 다르게 나타나는데 적절한 거칠기 값을 제공하는 1차 회귀직선의 구간 $2m+1$ 을 41개(10° 간격)로 선정하였으며 대상 장애물이 부드러운 초질(草質) 형태임을 판단하기

위한 기준으로 거칠기의 문턱 값(threshold)을 선정할 것이다.

Fig. 3에서 보듯이 나무, 바위와 같이 로봇이 통과할 수 없고 반드시 회피해야 하는 장애물의 거칠기 Rn은 장애물의 모양이 평평하고, 표면이 매끄러울수록 0에 가까운 값을 갖는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 바탕으로 센서에 탐지된 장애물의 주행가능성을 판단하는 조건을 다음과 같이 정의하였다.

- ① 장애물은 로봇으로부터 1미터 이내에 위치한 장애물로 한정한다.
- ② 센서로부터 탐지되지 않는 장애물은 극복가능한 장애물로 가정한다.
- ③ $\Phi_i \in [50^\circ, 130^\circ]$ 구간 내에서 Rn의 문턱 값을 20mm로 설정하고, 문턱 값 이하인 3개 이상의 연속된 점의 집합(set)을 선택한다.
- ④ 연속된 점의 집합이 1개 이상 존재하면, 해당 구간은 로봇이 반드시 회피해야 하는 장애물이 존재하는 것으로 판단한다.

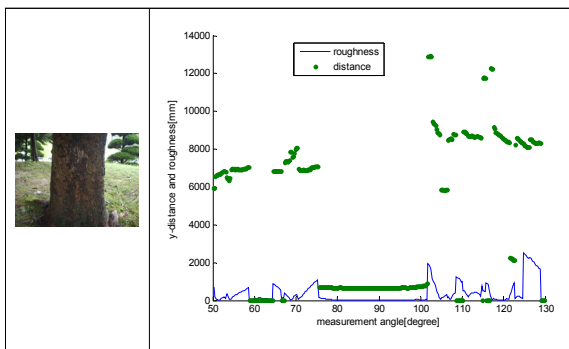


Fig. 3. roughness feature wood(W1)

다. 레이저 강도(intensity)

레이저 스캐너는 관심지역에 레이저가 광범위하게 작동하면서 스캔 각도에 따라 레이저가 출발하여 장애물에 반사되어 되돌아오는데 걸리는 시간을 측정하여 거리 값을 계산한다. 또한 레이저 스캐너는 각 스캔 각도에서 반사 신호의 강도(intensity) 정보를 제공한다³⁾.

레이저의 강도는 레이저 광선의 광학 에너지이다. 기존 연구결과를 보면 레이저 강도는 대상물 표면 재질의 거칠기와 색상, 젖은 정도에 영향을 받는다. 건조 상태와 젖은 상태에서 반사강도 평균의 차이를 비

교한 결과 건조 상태에서 높은 반사강도 값을 보여 젖은 정도가 레이저 스캐닝의 반사 강도에 영향을 주는 것으로 나타났다. 그리고 표면이 가장 매끈한 대상물은 반사 강도 값 평균이 가장 높게 나타났고 반대로 표면이 가장 거친 대상물은 반사 강도 값 평균이 가장 낮게 나타났다. 대상물의 표면 색상과 반사 강도의 관계를 분석하면 반사 강도 값 평균은 흰색을 지닌 대상물이 가장 높고, 갈색 또는 옅은 밤색계통 대상물이 가장 낮게 나타난다⁴⁾. 이와 같은 연구결과를 기준으로 대표적인 산악장애물인 나무와 바위의 레이저 반사 강도를 예상해 보면 나무가 바위보다 표면이 거칠고 갈색계통의 색을 가지고 있으므로 더 큰 값의 반사 강도를 예상 할 수 있다.

Table 1은 바위와 나무의 반사 강도를 각각 4개의 실제 장애물에 대해 측정한 결과이다. 반사 강도의 평균값은 나무(4709)가 바위(3439)보다 다소 높은 값이 나타났다. 그러나 각 샘플의 반사 강도를 비교하면 W1, W4와 R1, R2, R3, R4는 거의 유사한 값을 나타내고 있다.

Table 1. Intensity of wood and rock(arbitrary unit[a.u.]

구분	평균	W1	W2	W3	W4
wood	4709	3633	4311	6903	3989
구분	평균	R1	R2	R3	R4
rock	3439	3682	3865	3068	3144

이것은 반사 강도가 장애물의 표면 거칠기와 색상, 습한 정도 등 매우 다양한 변수의 영향을 받기 때문이며 정확하게 나무가 바위보다 반사 강도가 항상 높다고 할 수 없다. 또한 다양한 변수가 동일한 가중치로 측정물체의 반사 강도에 영향을 주는 것이 아니라 표면의 거칠기가 색상보다 더 영향을 미치게 되므로 임의의 자연 장애물에 반사 강도 값을 적용하여 주행가능성을 판단하는 것은 상관관계가 없음을 알 수 있다. 즉, 장애물의 레이저 반사 강도 값을 측정하여 반사 강도 값에 따라 장애물을 분류하는 것은 자연 장애물인 산악장애물의 다양성을 고려 할 때 신뢰 할 수 없는 것이다.

그러나 레이저 반사 강도를 분석해보면 Fig. 4와 Fig. 5와 같이 장애물의 종류에 따라 레이저가 반사되는 분포가 다른 것을 알 수 있다. 특히, 나무나 바위는 동

일하게 딱딱한 재질로 이루어져 있고 측정거리가 유사하므로 반사 강도의 분산도가 작게 나타나고, 풀과 관목은 나무와 바위에 비해 초질류의 흩어진 빈 공간과 표면 특성, 비스듬한 입사각에 의해 분산도가 큰 불규칙한 반사 강도의 분포 특성이 나타나고 있다. 이러한 레이저 스캐너의 반사 강도 분포 특성을 이용하여 거칠기 알고리즘을 이용한 주행가능성 판단 결과를 보완 할 것이다.

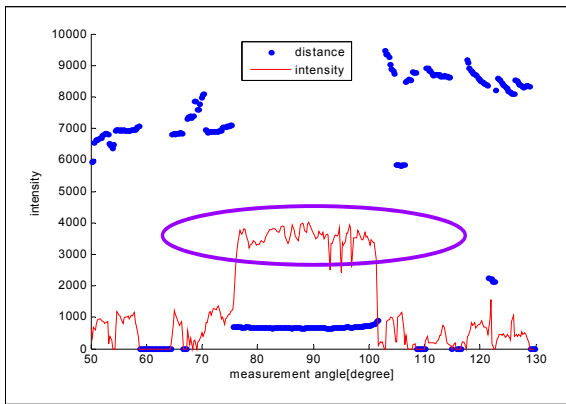


Fig. 4. wood(W1) feature(Intensity)

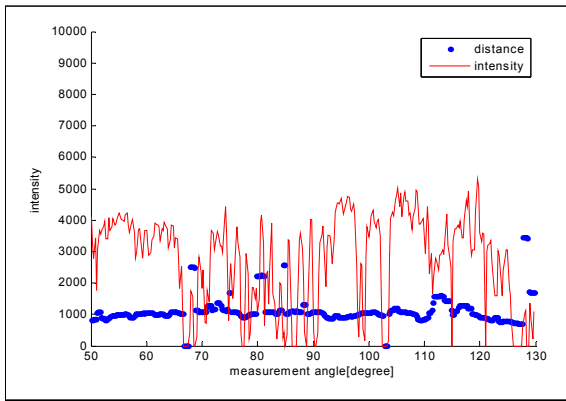


Fig. 5. Grass(G4) feature(intensity)

반사 강도의 분포 특성은 식 (6)과 같이 표준편차를 이용하여 구할 수 있으며, 실제 장애물에서 측정된 반사 강도 분포의 표준편차는 Table 2와 같다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n}} \quad (6)$$

나무와 바위는 Rn이 20mm 이하인 집합 내의 Pi의 반사 강도 정보만을 이용하였고 풀과 관목은 모든 스캐닝 구간(50°~130°)에서 반사 강도 정보를 이용하여 표준편차를 구하였다. 단, 센서의 반사 강도 쓰레기 값 (0)을 포함하여 표준편차를 계산한다. Table 2에서 풀과 관목은 반사 강도의 분포가 더 크게 분산되어 있으므로 나무와 바위의 표준편차보다 더 큰 값이 나타났다. 거칠기를 이용하여 장애물의 주행가능성을 판단할 때 밀집형태의 풀은 Rn값이 작게 나와 주행이 불가능한 것으로 오판하는 사례가 있었는데, 위와 같은 반사 강도 표준편차의 특성을 이용하여 추가적인 장애물의 주행 판단 기준을 제시 할 것이다.

Table 2. standard deviation of intensity(a.u.)

구분	평균	W1	W2	W3	W4
wood	305	331	253	372	267
구분	평균	R1	R2	R3	R4
rock	149	177	140	204	76
구분	평균	G1	G2	G3	G4
grass	1238	1467	751	1365	1370
구분	평균	S1	S2	S2	S2
shrub	1080	887	1079	1396	960

주행이 불가능한 장애물을 판단하는 첫 번째 기준은 거칠기 알고리즘을 이용하여 거칠기의 문턱 값 (20mm) 이하의 거칠기가 연속해서 3점 이상 나타나는 구간을 찾고 1개 이상의 집합이라도 존재하면 주행이 불가능한 장애물로 판단하였다. 두 번째 기준은 반사 강도 표준편차의 특성을 이용하여 아래와 같이 제안한다. 거칠기 알고리즘을 적용 했을 때 주행 불가 장애물로 판단 경우, 해당 집합 구간내의 반사 강도 표준편차가 일정한 값을 초과한다면 풀과 같이 주행 가능한 장애물로 판단 할 것이다. 반사 강도는 실험값에 의해 문턱 값을 500으로 결정하였다.

3. 실험결과 및 분석

실험에 사용된 레이저 센서는 HOKUYO 제품으로 최장 탐지 거리는 20m이며 270° 각도 범위에서 스캐

닝이 가능 하고 실외 환경에서 사용 가능하도록 제작 되었다. 스캔 속도는 25ms로 1초에 40회 스캔 할 수 있는 센서이다. 장애물의 최소탐지거리인 70cm에서 실험용으로 가정한 로봇의 높이 40cm에 센서를 고정하여 별도의 전원 공급 장치에 연결하여 데이터를 획득 하였다. 획득한 데이터는 MATLAB을 이용하여 주행성을 판단하였다. 실험 환경으로는 9월, 10월 맑은 날 실외 환경에서 실행하였다.

가. 거칠기

다양한 산악지형의 장애물 중 대표적으로 4종류의 장애물을 구분하여 실제 장애물을 센서로 탐지하고 분석하였다. 로봇이 반드시 회피해야 하는 장애물인 나무와 바위, 주행 가능한 장애물 즉 통과할 수 있는 장애물인 풀, 산악지형에 많이 분포하는 관목을 대상으로 실험하였다. 4종류 장애물 당 각각 4개의 실제 장애물을 레이저 스캐너를 이용하여 데이터를 획득 후 분석한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. result of roughness algorithm

구 분	set 개수	주행가능성 판단결과	실제 주행 가능성	정확성
wood	W1	3	주행 불가	O
	W2	1		O
	W3	3		O
	W4	1		O
rock	R1	6	주행 불가	O
	R2	9		O
	R3	4		O
	R4	3		O
grass	G1	1	주행가능	X
	G2	0		O
	G3	0		O
	G4	2		X
shrub	S1	1	주행 불가	O
	S2	2		O
	S3	2		O
	S4	4		O

거칠기 알고리즘을 이용하여 16개 장애물에 대해 로봇의 장애물 주행 가능성을 판단한 결과 주행이 불가능하여 회피해야 하는 장애물인 나무와 바위는 주행 불가능한 장애물로 정확하게 판단하였다. 나무에 비해 집합이 많이 산출된 이유는 바위의 형태가 불규칙적이고 굴곡이 많기 때문에 작은 범위의 집합이 많이 산출된 것이다. 그리고 Fig. 6, 7과 같이 로봇이 통과할 수 있는 초질(草質) 형태의 대표적인 산악장애물인 풀, 즉 G1과 G4에서 각각 1개와 2개의 집합이 산출되어 주행이 불가능한 것으로 오판되었다. 그러나 Rn이 20mm 이하인 집합의 구간 크기가 약 1°로 매우 작은 구간 크기의 집합이 나타났다. 이것은 초질(草質) 형태의 장애물이라도 조밀도가 높은 경우 바위나 나무처럼 매우 작은 범위에서 레이저 스캐닝 형태가 매끄러운(smooth) 모양을 보일 수 있으므로 문턱 값 이하의 Rn이 산출되어 반드시 회피해야 하는 장애물로 오판 될 수 있음을 보여준다.

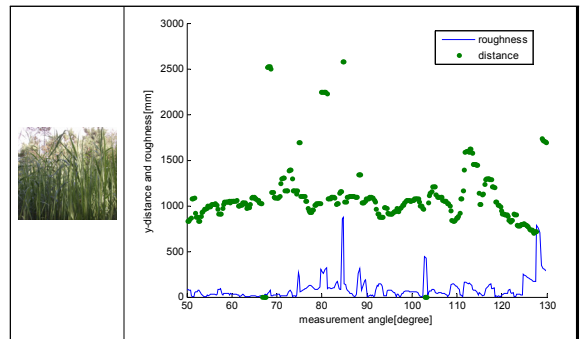


Fig. 6. grass2(G2) feature(roughness)

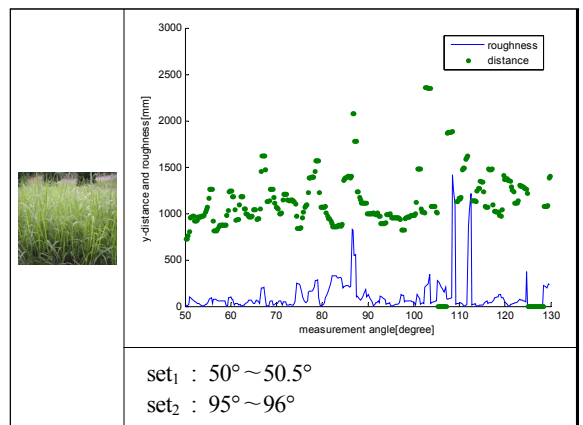


Fig. 7. grass4(G4) feature(roughness)

관목은 여러 개의 줄기가 있으나 어느 것 하나가 특별히 크지 않고 잔가지가 많이 분포되어 있는 3m 이하의 작은 나무이다. 실험 대상인 S1~S4는 모두 1개 이상의 집합이 산출되어 로봇이 반드시 회피해야 하는 장애물로 판단되었다. 이것은 육안으로 관측한 주행 가능성과 일치하는 결과이다. 그러나 관목의 주행성은 형상과 밀도에 따라 다르게 나타날 수 있다. 초질류와 딱딱한 나뭇가지가 혼합되어 있어 나무와 바위처럼 일정한 형상을 가진 장애물이 아니기 때문에 풀처럼 형태가 랜덤한 경우 레이저 거리 데이터가 백색잡음 형태를 나타내어 주행 가능한 장애물로 오판하는 것이다.

나. 레이저 반사 강도

실험 대상 장애물 중에서 거칠기 알고리즘 적용 시 주행이 불가능한 것으로 판단된 장애물에 대해 반사 강도 표준편차의 문턱 값을 적용 후 최종 장애물의 주행 가능성을 재판단한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. result of intensity method

구 분	반사 강도 SD	주행 가능성 판단 결과	실제 주행 가능성	정확성	
wood	W1	331	주행 불가	주행 불가	O
	W2	253			O
	W3	372			O
	W4	267			O
rock	R1	177	주행 불가	주행 불가	O
	R2	140			O
	R3	204			O
	R4	76			O
grass	G1	634	주행 가능	주행 가능	O
	G4	231	주행 불가	주행 가능	X
shrub	S1	103	주행 불가	주행 불가	O
	S2	354			O
	S3	1390	주행 가능		X
	S4	275	주행 불가		O

나무, 바위 등 주행 불가 장애물은 반사 강도 기준을 적용했을 때도 동일하게 주행이 불가능한 것으로 나타났다. 그러나 G1은 반사 강도를 적용했을 때 표준편차가 634이므로 주행 가능한 초질류로 재 판단되었고 실제 주행이 가능하다는 사실과 일치한다. 그러나 G4는 실제 주행이 가능한 초질류 입에도 반사 강도의 표준편차가 231로 문턱 값 이하 값이 나타났으므로 최종적으로 주행 불가 장애물로 오판한 결과가 유지되었다. 이것은 G4의 형태가 매우 조밀하게 분포되어 있어 초질류의 반사 강도 분포 특성이 나타나지 않았기 때문이다. 또한, 이와 반대로 S3와 같은 관목의 경우 잔가지를 갖고 있어 주행이 불가하지만 초질류처럼 흩어져서 분산되어 분포되어 있는 경우 반사 강도 표준편차가 크게 나타나 주행이 가능한 장애물로 잘못 판단 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 복잡한 산악지형을 정찰하는 군사용 UGV에 적합하고 효율적인 장애물 탐지 및 주행 가능성 판단 알고리즘을 제안하였다. 정찰용 UGV의 효율적인 장애물 회피 개념은 산악지형의 장애물 중에서 로봇이 통과 할 수 있는 부드러운 풀이나 갈대류 등의 초질류(草質)는 로봇이 통과하여 주행하고, 나무나 바위와 같이 반드시 로봇이 회피해서 주행해야 하는 장애물은 회피하여 주행하는 것을 의미한다. UGV가 유연한 산악 장애물을 구분하여 통과하여 주행함으로써 목표지점까지 경로를 단축하여 이동 시간을 절약 할 수 있고, 정찰용 로봇의 소음이 무시할 만큼 작다면 로봇이 적에게 탐지되지 않고 풀 사이로 이동하여 로봇의 생존성을 향상 시킬 수 있다.

레이저 스캐너의 거리 데이터에서 획득한 거칠기 정보와 반사 강도 데이터의 표준편차를 이용하여 주행 가능성을 판단 한 결과 거칠기와 반사 강도는 장애물의 형태와 분포 특성에 따라 많은 영향을 받는 것을 확인 할 수 있었다. 특히, 제안된 알고리즘을 적용 시 바위, 나무, 풀에 대한 주행 가능성 판단의 정확도가 높음을 알 수 있다. 본 연구는 극복가능한 장애물과 그렇지 못한 장애물을 분류하여 자율주행 UGV에 적용하기 위한 가능성을 보여주는 것을 목적으로 하고 있으며 아직까지는 일부 오판하는 경우가 있었다. 본 논문은 레이저 스캐너를 이용하여 장애물을 분류하는

새로운 방법의 접근 방식을 제안하지만 무인로봇의 주행에 민감한 수풀 속에 포함되어 있는 바위 등의 장애물을 판단할 수 없다는 약점이 있다. 따라서 개선방향으로 수풀 뒤쪽에 가려져있는 장애물을 탐지할 수 있는 투과 레이더를 설계^[5]하는 방법을 제안하고, 향후 수풀과 바위 등이 공존하는 장애물에 대해서도 검토 보완해야 할 것이다.

향후에는 개발된 알고리즘을 다양한 크기의 UGV에 적용하기 위해 적합한 문턱 값을 재선정하여 운용할 수 있도록 해야 할 것이다. 그리고 온도, 습도 등의 날씨변화나 여러 가지 환경에서 레이저 스캐너의 유용성을 검토해야 할 것이다. 또한, 제안된 알고리즘을 UGV에 적용하여 실험적으로 검증하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

References

- [1] Chan-Soo Park, Doik Kim, Bum-Jae You, and Sang-Rok Oh, "Characterization of the Hokuyo UBG-04LX-F01 2D Laser Rangefinder", 19th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 285~390, Sept 2010.
- [2] Jens Christian Andersena, Morten Rufus Blas, "Traversable Terrain Classification for Outdoor Autonomous Robots using Single 2D Laser Scans", Integrated Computer-Aided Engineering - Informatics in Control, Automation and Robotics, Volume 13, Issue 3, July 2006.
- [3] John Hancock, Martial Hebert, "Laser Intensity-Based Obstacle Detection and Tracking", Doctoral Dissertation, Tech. Report CMU-RI-TR-99-01, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, January, 1999.
- [4] 이인수, 박성석, "대상물 표면특성에 따른 측점군 반사강도 분석", 한국지적정보학회지, 제10권, 제1호, pp. 95~109, 2008. 6.
- [5] 선선구, 조병래, 박규철, 남상호, "무인 차량 탐제형 전방 관측 영상 레이더 가능성 연구", 한국전자과학기술논문지, 제21권, 제11호, pp. 1285~1294.
- [1] Chan-Soo Park, Doik Kim, Bum-Jae You, and Sang-Rok Oh, "Characterization of the Hokuyo UBG-