

비평지용 무인차량을 위한 장애물 탐지

Obstacle Detection for Unmanned Ground Vehicle on Uneven Terrain

최 덕 선* · 주 상 현** · 박 용 운** · 박 진 배†

(Tok Son Choe · Sang Hyun Joo · Yong Woon Park · Jin Bae Park)

Abstract - We propose an obstacle detection algorithm for unmanned ground vehicle on uneven terrain. The key ideas of the proposed algorithm are the use of two-layer laser range data to calculate the gradient of a target, which is characterized as either ground or obstacles. The proposed obstacle detection algorithm includes 4-steps: 1) Obtain the distance data for each angle from multiple lidars or a multi-layer scan lidar. 2) Calculate the gradient for each angle of the uneven terrain. 3) Determine ground or obstacle for each angle on the basis of reference gradient. 4) Generate a new distance data for each angle for a virtual laser scanner. The proposed algorithm is verified by various experiments.

Key Words : Obstacle detection, Unmanned ground vehicle, Uneven terrain.

1. 서 론

포장된 도로 등 평탄한 환경에서 운용되는 무인차량을 위한 장애물 탐지 방법들은 CCD 카메라 또는 2차원 라이더(LIDAR: Light Detection And Ranging)를 사용하여 일정 영역 내에서 검출된 모든 데이터는 장애물로 판단한다[1, 2]. 이러한 장애물 탐지 방법들은 실내 또는 도시 환경에 적합한 방법이며, 처리해야 하는 데이터가 많지 않아 비교적 짧은 계산시간이 소요된다.

하지만, 기존의 장애물 탐지 방법들은 보통 하나의 2차원 라이더를 사용하거나, 차량의 수평면에 평행하게 배치된 다수의 2차원 라이더를 사용하므로 인해 비포장도로나 야지 등과 같은 비평지 환경에서 급격한 기동을 수행하는 군사용 무인차량에는 적합하지 않다. 비평지 환경의 군사용 무인차량의 경우 급격한 방향 전환과 속도 변화로 인해 유발되는 무인차량의 관성력으로 인해 무인차량의 좌우 방향(Roll) 또는 앞뒤 방향(Pitch)으로 기울어져 비교적 평탄한 지면도 장애물로 오인되는 경우가 발생한다.

이를 극복하기 위해 기존의 비평지용 무인차량을 위한 장애물 탐지 방법들은 대부분 CCD 또는 적외선 카메라, 2차원 또는 3차원 라이더 및 레이더(RADAR: RADio Detection And Ranging) 등의 다양한 센서들을 활용하여 높이 정보가 포함된 3차원 형상 정보를 활용한다[3-6]. 하지만, 장애물 탐지방법들은 다양한 센

서들로부터 많은 데이터를 획득하고 처리하여야 하기 때문에 많은 계산시간을 요구한다.

본 논문에서는 2대 이상의 2차원 라이더 혹은 1대의 다중 스캔 라이더를 활용하여 평탄하지 않은 비포장 도로 혹은 야지 등과 같은 환경에서 지면 정보가 제거된 장애물 정보를 제공하며 기존의 3차원 형상정보를 활용하는 장애물 탐지 방법에 비하여 적은 계산시간을 요구하는 새로운 장애물 탐지 방법을 제안한다.

제안된 방법을 위해서는 하드웨어적으로 다음의 2 가지 센서 배치 중 한 가지 센서 배치가 요구된다.

- (1) 무인차량 전면에 2대의 2차원 라이더가 수직 방향으로 동일 축선 상에 배치되고 하부 배치 라이더는 수평을 지향하며 상부 배치 라이더는 적절한 각도로 지면을 지향하도록 배치
- (2) 무인차량 전면에 적절한 각도를 가지고 지면을 지향하도록 배치된 1대의 다중 스캔 라이더

제안된 장애물 탐지 알고리즘은 2대 이상의 2차원 라이더 또는 1대의 다중 스캔 라이더로부터 획득된 전방 환경에 대한 거리측정 데이터를 활용하여 전방 환경의 경사도를 계산하고 지면과 장애물을 구분하고 이를 기반으로 지면을 제거하여 장애물 정보만을 제공하는 것을 핵심적인 아이디어로 한다. 비평지 환경에서 기존 연구들은 무인차량의 일정한 전방 영역에 대해 3차원 형상정보를 가지는 지도를 활용함으로써 장애물 탐지에 있어서 높은 해상도를 가지지만 그로 인해 많은 계산량을 요구하고 빠른 정보 갱신이 힘든 단점을 가진다. 제안된 장애물 탐지 방법은 기존 연구와 달리 1차원 공간에서 일정한 전방 영역에 대해 경사도를 계산하고 이를 기반으로 장애물을 탐지함으로써 상대적으로 기존 연구에 비해 적은 계산량을 요구하고 빠른 정보 갱신이 가능하다는 차별성을 가진다.

† Corresponding Author : Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Korea

E-mail : jbpark@yonsei.ac.kr

* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Korea

** 5th-2 R&D Institute, Agency for Defense Development, Korea

Received : October 26, 2015; Accepted : January 7, 2016

본 논문의 구성은 2장에서 제안된 장애물 탐지 방법을 위해 요구되는 센서 배치와 센서 배치에 따른 경사도 계산 방법에 대해 상세히 설명한다. 3장에서는 계산된 경사도를 활용하여 전방 환경에 대해 획득된 거리 데이터에 대해 지면과 장애물 구분하고 지면 정보가 제거된 장애물 정보를 제공하는 알고리즘에 대해 상세히 설명한다. 4장에서는 제안된 장애물 탐지 방법의 유용성과 실용성을 확인하기 위해 다양한 시험을 수행하고 그 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구 과제를 소개한다.

2. 장애물 탐지를 위한 센서 배치 및 경사도 계산

제안된 장애물 탐지 방법은 라이다를 활용하여 장애물을 탐지한다. 실외 환경에서 장애물 탐지를 위해 사용되는 라이다는 크게 2가지로 구분될 수 있다. 하나는 2차원 라이다이며, 다른 하나는 다중 스캔 라이다이다. 대표적인 2차원 라이다 제품은 SICK사의 LMS1XX와 LMS5XX 시리즈 제품이며, 다중 스캔 라이다로 대표적인 제품은 SICK사의 LD-MRS와 Velodyne사의 HDL-32E이다. 제안된 장애물 탐지 방법은 2 Layer의 거리 측정 데이터에 의해 구현된다. 따라서, 2대의 2차원 라이다 또는 다중 스캔 라이다를 활용하여 구현될 수 있다. 본 장에서는 제안된 장애물 탐지를 위한 요구되는 센서 배치를 2 가지 종류의 라이다에 대해 각각 제안하고 각각의 센서 배치에서 전방 환경에 대한 경사도 계산 방법을 상세히 설명한다.

2.1 다중 스캔 라이다 활용 센서 배치 및 경사도 계산

제안된 장애물 탐지 방법에서 다중 스캔 라이다가 활용되는 경우, 다중 스캔 라이다는 무인차량 전면에 지면으로부터 차량 바퀴 반지름 보다 적절히 높은 위치에 배치되고 최소 2 Layer가 지면을 향하도록 적절한 각도로 전면을 지향하도록 배치되어야 한다. 만약 다중 스캔 라이다가 지면과 수평하게 배치되고 아래 2 Layer가 지면을 지향하고 있을 경우 그림 1과 같다.

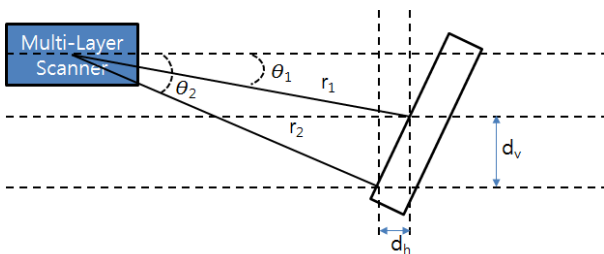


그림 1 다중 스캔 라이다 활용 센서 배치 및 경사도 계산

Fig. 1 Sensor configuration and gradient calculation using multi-layer laser scanner

그림 1과 같이 센서 배치가 된 경우 전방 환경의 경사도(s_1) 계산은 다중 스캔 라이다의 2 Layer에 의해 획득되는 두 거리 데이터(r_1 , r_2)와 수평면을 기준으로 다중 스캔 라이다의 2 Layer

가 지향하는 두 각도(θ_1 , θ_2)에 의해 계산되고 그 계산식은 다음 수식들과 같다.

$$d_h = r_1 \cdot \cos(\theta_1) - r_2 \cdot \cos(\theta_2) \quad (1)$$

$$d_v = r_2 \cdot \sin(\theta_2) - r_1 \cdot \sin(\theta_1) \quad (2)$$

$$s_1 = d_v / d_h \times 100 \quad (3)$$

수식 (1)과 (2)에서 d_h 와 d_v 는 퍼센트(%) 경사도 관점에서 수평 및 수직 이동거리를 의미한다. 수식 (3)은 최종 계산된 경사도(s_1)이고 단위는 퍼센트이다.

2.2 2대 2차원 라이다 활용 센서 배치 및 경사도 계산

제안된 장애물 탐지 방법에서 2대의 2차원 라이다가 활용되는 경우, 2대의 2차원 라이다는 무인차량 전면에 지면으로부터 차량 바퀴 반지름 보다 적절히 높은 위치에 배치되고, 수직축 선상에 위치하며, 2대의 2차원 라이다가 모두 지면을 향하거나 상단에 배치된 1대의 2차원 라이다는 지면을 향하고 하단에 배치된 1대의 2차원 라이다는 지면과 수평을 이루도록 배치되어야 한다. 만약 하단의 2차원 라이다가 수평을 향하고 상단의 2차원 라이다가 지면을 향하도록 배치되었을 경우 그림 2와 같다.

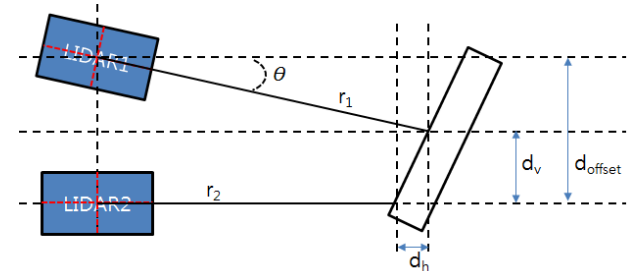


그림 2 2대의 2차원 라이다 활용 센서 배치 및 경사도 계산

Fig. 2 Sensor configuration and gradient calculation using two 2D LIDARs

그림 2와 같이 센서 배치가 된 경우 전방 환경의 경사도(s_2)를 계산하기 위해서는 2대의 2차원 라이다로부터 획득되는 두 거리 데이터(r_1 , r_2)와 상단의 2차원 라이다가 수평면을 기준으로 지면을 지향하는 각도(θ) 및 2대의 2차원 라이다의 수직 거리(d_{offset})에 의해 계산되고 그 계산식은 다음 수식들과 같다.

$$d_h = r_1 \cdot \cos(\theta) - r_2 \quad (4)$$

$$d_v = d_{offset} - r_1 \cdot \sin(\theta) \quad (5)$$

$$s_2 = d_v / d_h \times 100 \quad (6)$$

하단의 2차원 라이다가 지면과 수평하게 배치되지 않더라도 다중 스캔 라이다 활용 경사도 계산 방법과 유사한 방법으로 경

사도를 기하학적으로 계산할 수 있다. 하단의 2차원 라이다를 지면과 수평하게 배치한 이유는 경사도 계산을 가능한 쉽게 하기 위함이다.

제안된 장애물 탐지 방법의 센서 배치 및 경사도 계산의 핵심 아이디어는 전방 환경의 경사도를 계산하기 위해 2 Layer의 거리 데이터를 활용하는 것이다. 제안된 센서 배치와 그에 따른 경사도 계산 결과는 제안된 장애물 탐지 알고리즘에 기본으로 활용된다.

3. 제안된 장애물 탐지 알고리즘

제안된 장애물 탐지 알고리즘은 그림 3과 같이 요약된다. 매번 센서 데이터가 획득될 때마다 제안된 알고리즘이 반복적으로 수행된다.

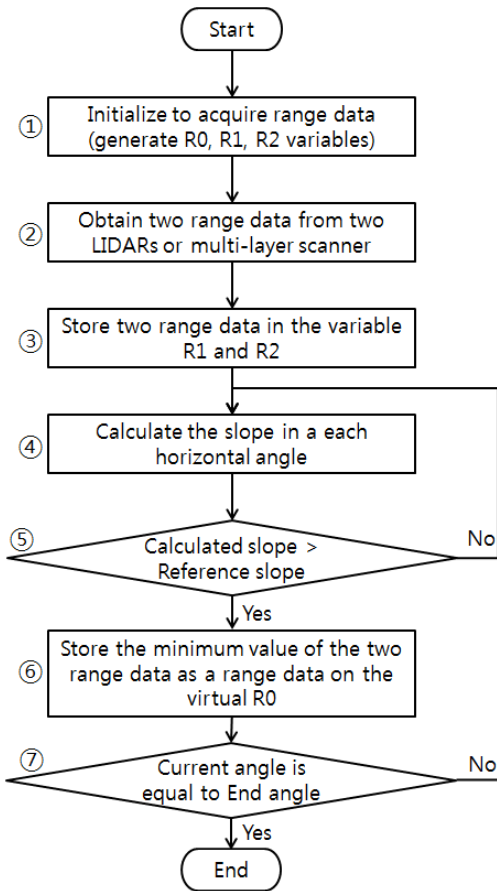


그림 3 경사도를 활용한 제안된 장애물 탐지 알고리즘 기능 흐름도

Fig. 3 Functional flow chart of the proposed obstacle detection algorithm using the slope

그림 3의 ① 과정에서 알고리즘 구동을 위해 세 개의 변수들

(R0, R1, R2)를 생성하고 초기화를 수행한다. 라이다의 수평 방향 스캔 범위 각도에서 라이다의 헤딩방향을 기준으로 좌측으로부터 거리 데이터가 들어오는 각도를 시작 각도로 정의하고 우측에 마지막으로 거리 데이터가 들어오는 각도를 끝 각도로 정의한다. 라이다의 수평방향 각도 분해능을 기반으로 수평 방향에 대해 최대 저장할 수 있는 거리 데이터의 개수를 정의한다. 세 개의 변수들은 시작 각도부터 끝 각도까지 최대 저장할 수 있는 거리 데이터의 개수만큼 순서대로 거리 값들을 저장할 수 있는 변수이며, 초기화 시 각 변수들에 라이다가 획득할 수 있는 거리 값 중에서 임의의 큰 값을 저장한다.

그림 3의 ② 과정에서는 다중 스캔 라이다 또는 2대의 2차원 라이다로부터 획득된 2 Layer의 거리 데이터를 획득하는 과정이다. 거리 데이터는 센서 갱신주기 마다 획득된다. 그림 3의 ③ 과정에서는 다중 스캔 라이다 또는 2대의 2차원 라이다로부터 획득된 2 Layer의 거리 정보에 대해 수평 방향으로 시작 각도에서 끝 각도까지 획득된 각각의 거리 데이터들을 두 변수(R1, R2)에 각도별 순서대로 각각 저장한다.

그림 3의 ④~⑦ 과정에서는 시작 각도부터 획득되는 거리 데이터들부터 끝 각도에서 획득되는 거리 데이터들까지 반복된다. 과정 ④에서는 해당 각도에 대해 경사도를 계산하고, 과정 ⑤에서는 해당 각도에 대해 계산된 경사도가 임의의 기준 경사도보다 큰 값인지를 판별한다. 만약 계산된 경사도가 임의 기준 경사도보다 큰 값이라면 장애물로 판단하고 과정 ⑥을 수행하여 변수 R0의 해당 각도에 해당하는 순서 부분에 두 개의 획득된 거리 데이터들 중에서 작은 값을 저장한다. 만약 계산된 경사도가 임의 기준 경사도보다 작은 값이라면 지면으로 판단하고 변수 R0의 해당 각도에 해당하는 순서 부분의 거리 값은 초기 값에 해당하는 임의의 큰 값을 유지한다.

4. 시험 및 결과 분석

제안된 장애물 탐지 방법의 유용성과 실용성을 검증하기 위해 크게 정적 및 동적 환경에서 시험을 수행하였다.

4.1 정적 환경에서의 장애물 탐지 시험 및 결과 분석

정적 환경에서의 장애물 탐지 시험을 위해 그림 4와 같은 환경에서 시험을 수행하였다. 그림 4에서 장애물로는 노란 장벽형 장애물 3개를 사용하였다. 그림 4의 3차원 월드 모델은 다중 스캔 라이다의 일종으로 총 32 Layer, 40° 수직방향 FOV(Field of View), 360° 수평방향 FOV, 1.33° 수직방향 각도 분해능, 10Hz의 데이터 갱신주기, 거리 정확도 약 2cm 등의 특징을 가지는 Velodyne사의 HDL-32 제품을 사용하여 형상화하였다. 오른쪽 하단의 사진은 실제 배치 전경을 담은 사진이다. 장애물들은 식별을 위해 왼쪽부터 ①, ②, ③ 번호로 그림에 표시하였다. 장애물을 쉽게 확인하기 위해 3차원 형상화 과정에서 지면은 제거되었다.

제안된 장애물 탐지 방법을 검증하기 위해 두 가지 센서 배치

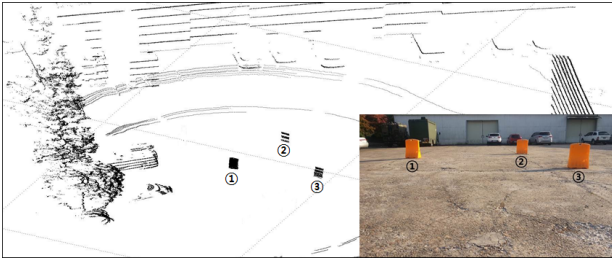


그림 4 정적 환경에서의 장애물 탐지 시험
 Fig. 4 Obstacle detection experiment in a static environment

중 다중 스캔 라이다를 사용한 센서배치를 사용하였다. 사용된 다중 스캔 라이다는 4 Layer, 3.2°의 수직 방향 FOV, 최대 110°의 수평 방향 FOV, 최대 50Hz의 데이터 갱신주기, 최대 측정거리 80m, 0.8°의 수직 방향 각도 분해능 등의 특징을 가지는 SICK사의 LD-MRS를 사용하였다. 그림 5는 LD-MRS로부터 임의의 한 갱신주기에 획득된 가공하지 않은 거리 데이터를 나타낸다.

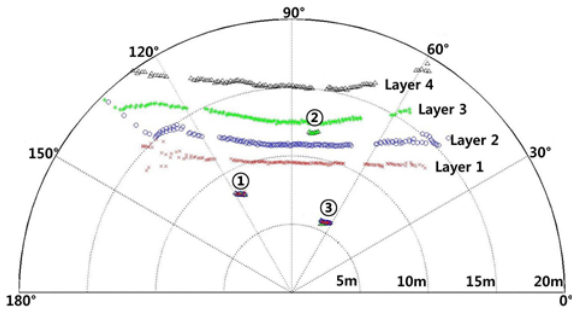


그림 5 LD-MRS로부터 획득된 거리 데이터
 Fig. 5 Raw range data obtained by an LD-MRS

그림 5에서 LD-MRS로부터 획득되는 4 Layer의 거리 데이터들이 아래부터 순서대로 Layer 1 - 빨간색 'x', Layer 2 - 파란색 '◇', Layer 3 - 초록색 '*', Layer 4 - 검은색 '△' 표시하였다. 그림 5에서 보이는 바와 같이 가공하지 않은 거리 데이터로부터는 ①과 ③ 장애물은 쉽게 육안으로 구분할 수 있지만 ② 장애물의 경우 유심히 보지 않으면 지면에 의해 획득되는 거리 데이터들과 구분하기 쉽지 않다.

그림 6은 그림 5의 거리 데이터에 대해 제안된 장애물 탐지 방법을 적용하여 처리된 거리 데이터이다. 본 시험에서 기준 경사도는 무인차량의 극복 가능한 경사도를 고려하여 50%로 설정하고 적용하였다.

그림 6에서는 지면에 해당하는 거리 데이터들이 모두 제거되고 명확하게 장애물들에 대한 거리 데이터들만 전시되는 것을 확인할 수 있다. 이는 지면에 의해 획득되는 거리 데이터들의 경우 경사도를 계산하면 기준 경사도 보다 작기 때문에 모두 제거됨으로써 그림 6과 같은 결과가 제시된다.

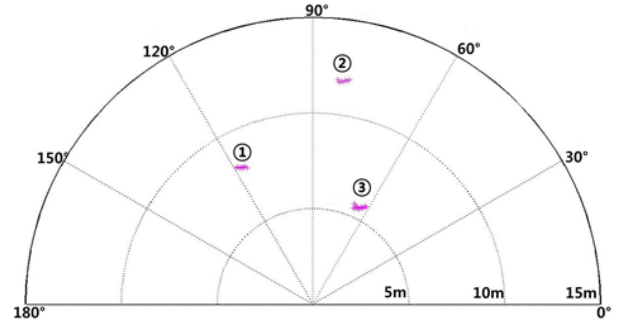


그림 6 제안된 방법으로 처리된 거리 데이터
 Fig. 6 The processed range data using the proposed method

4.2 동적 환경에서의 장애물 탐지 시험 및 결과 분석

동적 환경에서 제안된 장애물 탐지 방법을 검증하기 위해 그림 7과 같이 시험 환경을 구축하였다.



그림 7 (a) 실험 플랫폼, (b) 원격제어장치, (c) LD-MRS
 Fig. 7 (a) Experimental platform, (b) Remote control unit, (c) LD-MRS

그림 7의 (a)는 시험에 사용된 6×6 타입의 실험 플랫폼이다. 해당 플랫폼의 경사 등판 능력과 시험 환경 등을 적절히 고려하여 시험에 사용된 기준 경사도는 50%로 설정하였다. 그림 7의 (b)는 실험 플랫폼을 통제하고 상태정보를 수신하는 원격통제장치이다. 구체적으로, 실험 플랫폼이 주행할 경로점 집합을 송신하고 원격 또는 자율주행 명령을 송신하는 기능을 수행한다. 또한, 플랫폼에서 송신하는 위치 정보를 수신하고 전시하는 기능을 수행한다. 그림 7의 (c)는 시험에 사용된 LD-MRS 센서이다.

그림 8은 실험 플랫폼이 주행한 경로점 집합과 장애물 위치를 나타낸다. 그림 8에서 검은색 원은 출발 위치를 의미하고 오른쪽 방향으로 경로점들을 통과하여 마지막에 출발 위치로 돌아오는 주행 궤적을 시험에 사용하였다. 주행 중 원통형 장애물 두 개를 배치하여 주행 중 지면 정보를 배제하고 장애물 정보만 탐지할 수 있는지 검증하였다. 지면은 비포장이고 비정형의 흙 및 모래로 구성되었으며 우측으로 약간의 경사가 존재한다.

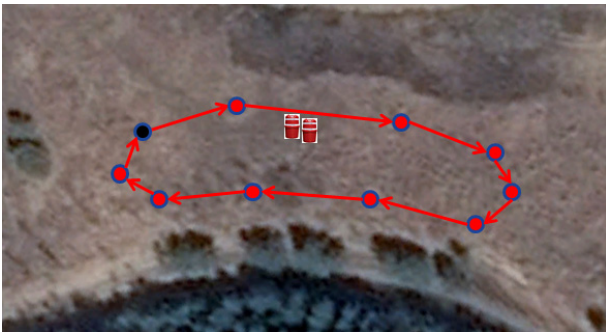


그림 8 실험 플랫폼 주행 경로점 집합 및 장애물 위치
 Fig. 8 Way-point set of experimental platform and position of obstacles

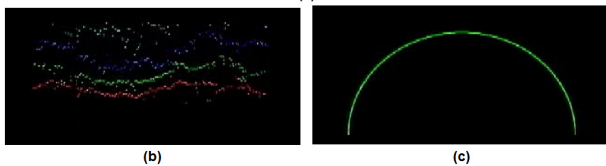


그림 9 (a) 출발 직후 전경, (b) LD-MRS 거리 데이터, (c) 제안된 방법 적용 거리 데이터
 Fig. 9 (a) Platform picture at the beginning, (b) Raw range data of LD-MRS, (c) Processed range data by the proposed method

그림 9는 그림 8의 시작 위치에서 출발 직후 획득한 사진과 거리데이터들이다. 그림 9의 (a)는 출발 직후 플랫폼이 직진 주행 시 찍은 사진이다. 그림 9의 (b)는 LD-MRS로부터 획득된 처리되지 않은 거리 데이터이다. 각 Layer별로 수평하게 거리 데이터가 획득됨을 확인할 수 있다. 이는 플랫폼이 직진 주행을 하였기 때문이다. 그림 9의 (c)는 제안된 장애물 탐지 방법을 이용하여 처리된 거리 데이터이다. 현재 상황은 장애물이 없기 때문에 임의의 큰 값(시험 시 80m)로 거리 데이터가 전시되고 있다.

그림 10은 그림 8의 출발 위치에서 다음 추종할 경로점을 추종하기 위해 플랫폼이 우조향을 수행할 때 획득한 사진과 거리 데이터들이다. 그림 10의 (a)는 우조향 주행 시 플랫폼을 찍은 사진이다. 그림 10의 (b)는 플랫폼이 우조향 주행 시 LD-MRS로부터 획득된 처리되지 않은 거리 데이터이다. 각 Layer가 우측으로 기울어져 있음을 확인할 수 있다. 이는 플랫폼이 우조향을 하였기 때문에 비교적 평탄한 구간을 가더라도 거리 데이터가 기울어진 형태로 획득된다. 그림 10의 (c)는 플랫폼이 우조향 주행 시 제안된 장애물 탐지 방법을 이용하여 처리된 거리 데이터이

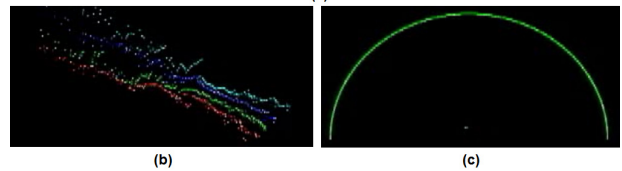


그림 10 (a) 우조향 시 전경, (b) LD-MRS 거리 데이터, (c) 제안된 방법 적용 거리 데이터
 Fig. 10 (a) Platform picture under right steering, (b) Raw range data of LD-MRS, (c) Processed range data by the proposed method

다. 현재 상황은 장애물이 없기 때문에 임의의 큰 값으로 거리 데이터가 전시되고 있다. 플랫폼의 기울어짐에 상관없이 지면을 구분하고 제거된 거리 데이터가 전시됨을 확인할 수 있다.

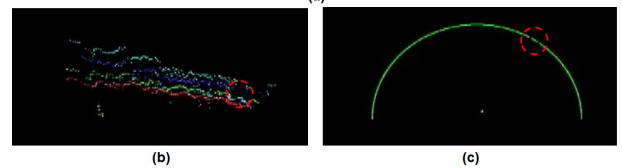


그림 11 (a) 장애물 조우 시 전경, (b) LD-MRS 거리 데이터, (c) 제안된 방법 적용 거리 데이터
 Fig. 11 (a) Platform picture when it runs into obstacles, (b) Raw range data of LD-MRS, (c) Processed range data by the proposed method

그림 11은 그림 8의 첫 번째 경유점을 지나고 장애물을 만났을 때 획득한 사진과 거리데이터들이다. 그림 11의 (a)는 장애물 앞에 플랫폼이 왔을 때 찍은 사진이다. 빨간 드럼 2개를 장애물로 사용하였다. 장애물들은 2개가 서로 접하게 놓았고 플랫폼 진행방향의 우측에 위치하도록 배치되었다. 그림 11의 (b)는 플랫폼 주행 방향의 우측으로 장애물이 위치할 때 LD-MRS로부터 획득된 처리되지 않은 거리 데이터이다. 육안으로 쉽게 식별되지는 않지만 우측의 빨간 점선으로 된 원이 장애물들을 의미한다. 왼쪽 하단의 몇 개의 점들은 먼지의 의해 불규칙적으로 획득된

거리 데이터를 의미한다. 그림 11의 (c)는 플랫폼 주행 방향의 우측으로 장애물이 위치할 때 제안된 장애물 탐지 방법을 이용하여 처리된 거리 데이터이다. 80m를 최대 탐지 범위로 놓고 전 시하였기 때문에 육안으로 쉽게 장애물을 구분할 수 있지 않지만, 우측 상단의 빨간 점선으로 된 원에 두 부분의 빈 공간으로 간접적으로 2개의 장애물들이 있음을 확인할 수 있다. 그림 11의 결과로부터 동적 환경에서 제안된 장애물 탐지 방법이 적절히 동작하여 지면 정보가 제거된 장애물 정보가 명확히 제공되는 것을 확인할 수 있다. 부가적으로, 불규칙적으로 발생하는 적은 양의 먼지의 경우 1 Layer에 의해서만 탐지됨으로 인해 경사도를 측정 시 작은 값이 나오므로 인해 장애물로 인식되지 않음을 확인할 수 있었다. 이로써, 작은 양의 먼지도 제안된 장애물 탐지 방법에 의해 제거됨을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 다중 스캔 라이다 혹은 2개 이상의 2차원 라이다를 활용하여 센서의 한 갱신주기 이내에 센서 인지 범위 내의 각도 별로 경사도를 계산하고 계산된 경사도를 활용하여 지면과 장애물을 구분하여 지면 정보가 제거되고 장애물 정보만 존재하는 1대의 2차원 라이다가 생성하는 것과 같은 거리 데이터를 생성하는 포장되지 않은 도로 혹은 야지에서 활용 가능한 장애물 탐지 방법을 제안하였다.

제안된 방법은 3차원 형상정보를 활용하여 장애물을 탐지하는 방법에 비하여 2 Layer의 거리 데이터만 활용하여 지면 정보를 제거하고 장애물 정보를 생성함으로써 상대적으로 상당히 적은 계산량을 요구하는 장점을 가진다. 또한, 3차원의 장애물 정보를 2차원의 장애물 정보로 관리함으로써 상대적으로 적은 저장공간을 차지하는 이점이 있다.

제안된 장애물 탐지 방법은 빠른 응답성을 요구하는 근거리에서 긴급히 나타나는 장애물을 탐지하고 회피하는 응용분야에 적용 가능하리라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소 “단위로봇 경로계획/제어기술(자율주행 7레벨)” 과제와 LIG Nex1의 계약번호 LIGNEX1-2015-0086(00)의 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] Badal, S., Ravela, S., Draper, B., and Hanson, A., "A practical obstacle detection and avoidance system", *Proceedings of the Second IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 97-104, 1994.

[2] Broggi, A., Bertozzi, M., Fascioli, A., Bianco, C. G. L., and Piazzzi, A., "Visual perception of obstacles and vehicles for platooning", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, I(3), 164-176, 2000.

[3] Lacaze, A., Murphy, K., and DelGiorno, M., "Autonomous mobility for the Demo III experimental unmanned vehicles" in *Assoc. for Unmanned Vehicle Systems Int. Conf. on Unmanned Vehicles (AUUSI)*, 2002.

[4] Hong, T., Abrams, M., Chang, T., and Shneider, M. O., "An intelligent world model for autonomous off-road driving", *Computer Vision and Image Understanding*, 2002.

[5] Manz, M., Himmelsbach, M., Luettel, T. and Wuensche, H.-J., "Detection and tracking of road networks in rural terrain by fusing vision and LIDAR", *Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, San Francisco, CA, USA, pp. 4562-4568, 25-30 Sep. 2011.

[6] Habermann, D., Hata, A., Wolf, D. and Osorio, F. S., "3D point clouds segmentation for autonomous ground vehicle", *2013 III Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering*, Niteroi, pp. 143-148, Dec. 4-8 2013.

저 자 소 개



최 덕 선 (Tok Son Choe)

2004년 연세대 전기공학과 대학원 석사 졸업,
2004년~국방과학연구소 선임연구원, 2013년
~연세대 전기전자공학과 박사과정 재학 중
E-mail : tschoe@yonsei.ac.kr



주 상 현 (Sang Hyun Joo)

2012년 충남대학교 메카트로닉스 공학과졸업 (박사). 1993년~현재 국방과학연구소 책임연구원
E-mail : jooshce@gmail.com



박 용 운 (Yong Woon Park)

1994년 University of Utah 기계공학과 졸업(박사). 1982년~현재 국방과학연구소 책임연구원

E-mail : yongwoon5901@gmail.com



박 진 배 (Jin Bae Park)

1977년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1985~1990년 Kansas State University 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업(박사). 1990~1991년 Kansas State University 전기 및 컴퓨터 공학과 조교수. 현재 연세대학교 전기전자공학과 교수

E-mail : jbpark@yonsei.ac.kr