

## 먼지 환경의 무인차량 운용을 위한 장애물 탐지 기법

### A Method of Obstacle Detection in the Dust Environment for Unmanned Ground Vehicle

최 덕 선\*      안 성 용\*      박 용 운\*  
Tok Son Choe      Seongyong Ahn      Yongwoon Park

#### Abstract

For the autonomous navigation of an unmanned ground vehicle in the rough terrain and combat, the dust environment should necessarily be overcome. Therefore, we propose a robust obstacle detection methodology using laser range sensor and radar. Laser range sensor has a good angle and distance accuracy, however, it has a weakness in the dust environment. On the other hand, radar has not better the angle and distance accuracy than laser range sensor, it has a robustness in the dust environment. Using these characteristics of laser range sensor and radar, we use laser range sensor as a main sensor for normal times and radar as a assist sensor for the dust environment. For fusion of laser range sensor and radar information, the angle and distance data of the laser range sensor and radar are separately transformed to the angle and distance data of virtual range sensor which is located in the center of the vehicle. Through distance comparison of laser range sensor and radar in the same angle, the distance data of a fused virtual range sensor are changed to the distance data of the laser range sensor, if the distance of laser range sensor and radar are similar. In the other case, the distance data of the fused virtual range sensor are changed to the distance data of the radar. The suggested methodology is verified by real experiment.

Keywords : Unmanned Ground Vehicle(무인지상차량), Obstacle Detection(장애물 탐지), Dust Environment(먼지 환경), Laser Range Sensor(레이저 거리 센서), Radar(레이더)

## 1. 서론

지능형 로봇 기술의 발전, 위험한 전장환경 특성, 지속적인 임무수행의 필요성 그리고 부족한 인력자원의

문제 등의 해결책으로 미래 전장에서는 무인 시스템 활용이 필수적으로 요구되고 있다. 선진국을 대표하는 미국의 경우 변화하는 전장 환경에 대비하기 위하여 전투선단에 무인차량 및 무인비행체를 배치하고 후방의 안전한 곳에 배치된 지휘통제차량이 모든 전투를 지휘하는 네트워크 기반의 미래전투체계(FCS : Future Combat System)를 체계 개발 중에 있다<sup>1,2)</sup>.

무인차량의 자율주행을 위해서는 크게 각종 센서(주

† 2010년 9월 10일 접수~2010년 11월 19일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 최덕선(tschoe@add.re.kr)

야간 쌍안카메라, 레이저 거리센서, 레이더 등)로부터 데이터를 획득하는 센서처리 기술, 획득된 센서 데이터를 바탕으로 장애물 등을 인식하는 인지처리 기술, 기 확보된 지형정보 및 인지 처리된 장애물 정보를 통해 무인차량의 이동경로를 계획하고 판단하는 경로계획 기술, 계획된 경로에 맞게 다양한 종류의 무인 플랫폼을 제어하는 통합제어 기술 등 다양한 핵심 기술들이 요구된다<sup>13~16</sup>.

센서처리 기술의 경우, 센서의 종류를 다양화하여 다중 스펙트럼 기반의 다수의 센서를 사용하는 방향으로 발전하고 있다. 인지처리 기술의 경우에는 서로 다른 특성의 센서 정보를 융합하여 다양한 환경에서도 정확한 장애물 정보를 제공하는 방향으로 많은 연구가 진행되고 있다. 경로계획의 경우, 정확히 제공된 장애물 정보를 이용해 다양한 제한조건을 가지는 최적화 문제 등으로 해결책을 모색하고 있다. 플랫폼 통합제어의 경우, 모든 플랫폼에 대해 공통으로 적용할 수 있으며 노면 등의 환경변화에 강인하고 적응적인 제어 알고리즘들이 연구되고 있다<sup>17</sup>.

특히, 전투환경에서 사용되는 무인차량은 Fig. 1과 같은 먼지 등의 다양한 운용환경과 운용장소(도로, 야지 등)에서도 명확한 장애물 정보가 필수적으로 제공되어야 한다. 본 논문에서는 특히 먼지 환경에 강인한 장애물 탐지방법에 대해 제안하고자 한다.



Fig. 1. 먼지 환경

기존의 지능형 이동로봇들의 경우 대부분 레이저 거리센서 또는 초음파 센서만을 활용하는 장애물 탐지방법에 대한 연구들이 진행되어 왔다<sup>18,19</sup>. 레이저 거리센서만을 활용한 장애물 탐지의 경우 실외에서 먼지 등 이동로봇이 통과할 수 있는 장애물에 대해서도 통과할 수 없는 장애물로 오인하는 문제점이 발생된다. 해당 문제점의 원인은 레이저가 먼지 등에 의해 반사

되기 때문이다. 하지만 레이저 거리 센서는 각도 및 거리 정확도가 좋기 때문에 로봇 분야에서 장애물 탐지를 위한 중요한 센서로 사용된다.

본 논문에서는 평상시에 레이저 거리센서의 장점을 활용하고 먼지 및 연막 환경에서 취약한 레이저 거리센서의 단점을 보완하기 위해 레이저 거리센서를 주 센서로, 레이더를 보조센서로 활용하여 센서 시스템을 구성한다.

본 논문에서는 제안된 센서 시스템의 정보 융합을 위해 레이저 거리센서와 레이더 데이터를 각각 무인차량 중심에 위치한 가상의 거리센서로 변환한다. 융합의 구체적인 방법은 레이저 거리센서와 레이더에서 생성된 각각의 가상의 거리센서들에 대해 동일한 각도에서 각각의 거리 비교를 한다. 대상 거리가 동일할 경우 융합된 가상의 거리센서는 레이저 거리센서의 거리 데이터로 변경되고, 상이할 경우 레이더의 거리 데이터로 변경된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 제안된 센서 시스템을 활용하여 먼지 환경에서 강인한 장애물 탐지 방법을 구체적으로 제시한다. 3장에서는 제안된 방법을 검증하기 위한 실험 플랫폼과 환경에 대해 설명하고 그 결과를 기술한다. 4장에서는 결론 및 향후 연구방향에 대해 제시한다.

## 2. 제안하는 먼지 환경에 강인한 장애물 탐지 기법

### 가. 제안하는 센서 시스템

먼지 환경에서 강인한 장애물 탐지기법에 필요한 센서 시스템은 레이저 거리센서와 레이더가 소요된다. 레이저 거리센서의 경우 무인차량 전방 100° 이상을 감지할 수 있는 다중 레이어를 가지는 레이저 거리센서나 2개 이상의 단일 스캔 레이저 거리센서가 필요하다. 레이더의 경우 무인차량 전방 100° 이상을 감지할 수 있도록 단일 또는 다수의 레이더가 소요된다.

제안하는 센서 시스템에 사용된 레이저 거리센서는 각도 분해능이 약 1°이며, 거리 분해능이 4cm 수준으로 비교적 정확한 각도 및 거리 분해능을 가지지만 먼지 등을 투과할 수 없는 단점을 가진다. 레이더의 경우 각도 정확도가 5° 수준이며, 거리 정확도는 7.5cm 수준으로 레이저 거리센서에 비해 성능이 떨어지지만 먼지 등을 투과할 수 있는 장점을 가진다. 따라서 평시 환경에서 정확한 장애물 정보를 제공하며 먼

지 등의 환경에서도 강인한 장애물 정보를 제공할 수 있도록 레이저 거리센서와 레이더의 조합을 제안한다. 참고로 차량용으로 사용되는 레이저 거리센서와 레이더는 차량에서 자동 순항 제어, 충돌방지, 보행자 보호, 주차 보조, 긴급 정지 등의 응용분야에 활용된다.

Fig. 2는 제안된 센서 시스템에 사용된 레이저 거리센서의 감지범위를 나타낸 것이다. 레이저 거리센서의 경우 차량 전방 중앙에 1개가 배치되어 수평방향으로 100°를 감지하게 된다. 특히, 레이저 거리센서의 경우 월드모델과 충돌회피를 위한 장애물 정보 제공을 위하여 4개의 스캐닝 레이어가 지면을 향하도록 고각을 설정하였다. 고각 설정은 레이저 거리센서의 고각을 조절할 수 있는 센서구동장치를 활용하였다.

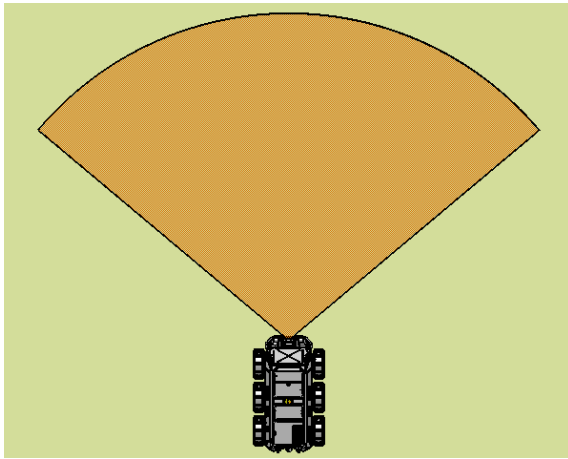


Fig. 2. 레이저 거리센서 감지범위

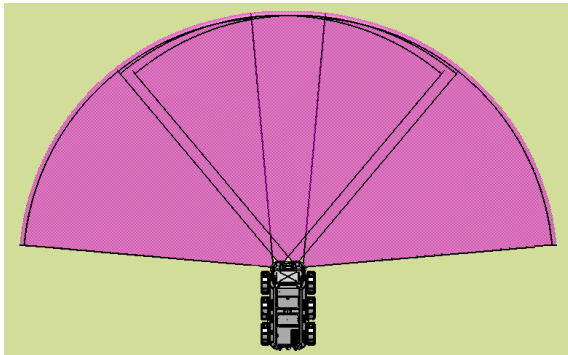


Fig. 3. FMCW 레이더 감지범위

Fig. 3은 제안된 센서 시스템에 사용된 레이더의 감지범위를 나타낸 것으로 차량 전방 하부에 수평방향

으로 80°를 감지할 수 있는 레이더 4개가 배치된다. 개별 레이더는 사각영역이 없고, 감지범위가 약 180°가 되도록 배치하였다. 레이더가 수평으로 배치될 경우 지면을 장애물로 인식하는 문제가 발생하기 때문에 각각의 레이더에 대해 수평 기준 상향으로 고각을 주었다.

#### 나. 다중센서 정보 융합 S/W 구성

Fig. 4는 제안된 센서 시스템을 활용하여 먼지환경에 강인한 장애물 정보 제공 S/W 구성을 보여준다. Fig. 4에서 상단의 흰색 IBEO 상자는 사용된 레이저 거리센서를 나타내며, 노란색 상자의 구동제어기 부분은 레이저 거리센서의 고각 구동할 수 있는 센서구동장치 H/W를 의미한다. 흰색 상자의 제어기 부분은 센서구동장치 구동제어를 위한 제어기 H/W를 나타낸다. 흰색 상자의 FMCW×4는 FMCW 레이더 4개의 H/W를 의미한다.

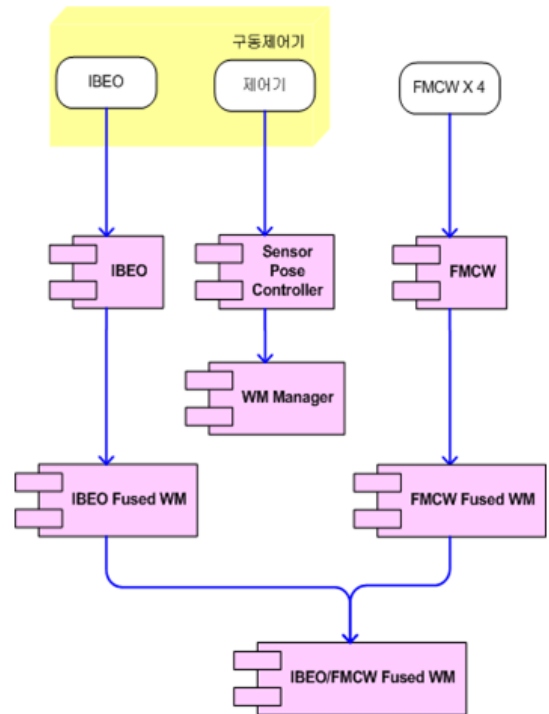


Fig. 4. 다중센서 융합 S/W 구성

Fig. 4에서 분홍색 상자들은 S/W 컴포넌트들을 의미한다. Sensor Pose Controller 컴포넌트는 다양한 모드 (위치 기반 제어, 속도 제어, 고각 스캔모드 제어 등)

에 맞는 제어를 수행한다. WM Manager 컴포넌트는 운용환경에 맞는 모드 명령을 생성하는 역할을 수행한다.

IBEO 컴포넌트는 레이저 거리센서와 직접 연결되어 4개의 레이어에 대한 각도별 거리데이터를 획득한다. IBEO Fused WM 컴포넌트는 레이저 거리센서의 4개의 레이어의 거리데이터를 지면/장애물 처리한 후 1개의 레이어를 가지는 차량 전면부에 위치한 가상의 거리센서에 대한 각도별 거리데이터로 변환한다.

FMCW 컴포넌트는 4개의 FMCW 레이더와 연결되어 탐지된 물체에 대해 각도 및 거리데이터를 획득한다. FMCW Fused WM 컴포넌트는 4개의 FMCW 레이더로부터 획득된 데이터를 차량 중심에 장착된 360도 범위를 가지는 가상의 거리센서 데이터로 변환한다.

최종적으로 IBEO/FMCW Fused WM 컴포넌트는 IBEO Fused WM 컴포넌트로부터 생성된 가상의 거리센서 데이터를 차량 중심에 장착된 360도 범위를 가지는 가상의 거리센서 데이터로 변환하고 그 데이터와 FMCW Fused WM 컴포넌트에서 생성된 가상의 거리센서 데이터에 대해 각도별 거리정보를 비교하므로서 먼지처리된 새로운 가상의 거리센서 데이터를 생성한다.

#### 다. 지면/장애물이 처리된 4 레이어 레이저 거리센서 융합 알고리즘

차량 전방에 평행 또는 전방을 지향하도록 장착된 레이저 거리센서를 활용하여 각도별 거리정보를 획득할 경우 차량의 급격한 조향 또는 속도 변화에 의해 차량이 좌우 또는 앞뒤로 기울어지는 현상이 발생한다. 이로 인해 차량에 장착된 레이저 거리센서의 지면 지향각도가 변경됨에 따라 기울어진 방향의 거리정보가 기울어지지 않았을 때보다 차량과 지면의 거리가 작은 값으로 변경된다. 이러한 상황에서 차량이 평탄한 환경에서 주행한다고 가정하고 장애물을 탐지할 경우 지면을 장애물로 오인하는 문제가 발생한다.

이를 해결하기 위해 IBEO Fused WM 컴포넌트에서 4개의 레이어를 가지는 레이저 거리센서를 활용하여 각도별로 획득되는 4개 거리정보를 비교하므로서 대상 물체의 기울기를 계산하고 그 기울기 정도에 따라 지면/장애물을 구분한다. 구분된 전방이 지면일 경우 획득된 거리정보를 임의 최대값을 가지도록 함으로써 지면을 장애물로 인식하지 않도록 한다. 구체적인 방법은 아래와 같다.

- Step 1) 차량 전방에 장착된 100° 범위를 가지는 가상의 거리센서 생성
- Step 2) IBEO 컴포넌트에서 생성한 4개의 각도별 거리데이터를 획득
- Step 3) 0°에서 100° 사이의 각각의 각도에 대해 4개의 거리데이터를 비교하여 대상물체의 기울기를 계산
- Step 4) 각도별 기울기가 임의의 기준값보다 작은 경우 지면으로 판단하고 해당 각도의 가상 거리센서의 거리데이터를 임의의 최대값 저장
- Step 5) 각도별 기울기가 임의의 기준값보다 큰 경우 장애물로 판단하고 해당 각도의 가상 거리센서의 거리데이터를 획득된 4개의 거리 데이터 중 작은값 저장

지면과 장애물을 판단하는 기울기의 기준값은 사용되는 차량 플랫폼의 등판 성능을 기준으로 사용하였다. Step 4)에서 지면으로 판단될 경우 가상 거리센서의 해당 각도의 거리데이터를 임의의 최대값을 저장하게 되는데 이는 레이저 거리센서의 최대 측정거리 또는 관심 있는 영역의 최대 거리를 기준으로 저장한다.

#### 라. 4개 FMCW 레이더 융합 알고리즘

4개의 FMCW 레이더 융합 알고리즘은 Fig. 4의 FMCW Fused WM 컴포넌트에 포함된 핵심 알고리즘이다. 이를 수행하는 이유는 레이저 거리센서와 4개의 레이더에서 생성된 각도별 거리데이터를 차량 중심에 장착된 360° 범위를 가지는 가상의 거리센서로 변경함으로써 레이저 거리센서와 융합을 단순화시키기 위함이다. 4개의 FMCW 레이더 융합 알고리즘의 상세한 방법은 아래와 같다.

- Step 1) 차량 중심에 장착된 360° 범위를 가지는 가상의 거리센서 생성
- Step 2) FMCW 컴포넌트에서 생성한 4개의 레이더의 각도별 거리데이터를 획득
- Step 3) 실제 레이더 기준의 각도별 거리데이터를 차량 중심의 가상의 거리센서 기준의 각도별 거리데이터로 변환 후 저장

Step 3)에서 변환되는 과정은 4개의 실제 레이더와 차량 중심의 가상의 거리센서 간의 거리정보와 각정보를 이용하여 탐지대상과 실제 레이더간의 거리와 각정

보를 가상의 거리센서에서의 거리와 각정보로 변환한다. 또한 저장과정에서 기존의 생성된 정보를 확인하고 해당 정보만 갱신하여 저장 과정을 단순화 하였다.

마. 먼지 처리를 위한 레이저 거리센서 및 레이더 융합 알고리즘

먼지 처리를 위한 레이저 거리센서 및 레이더 융합 알고리즘은 Fig. 4의 IBEO/FMCW Fused WM 컴포넌트의 핵심 알고리즘이다. 해당 알고리즘은 크게 레이저 거리센서와 레이더 데이터의 획득하고, 획득된 두 데이터를 통해 먼지 처리를 수행 및 먼지 처리된 거리 정보를 저장하는 3단계로 나누어 설명할 수 있다. 알고리즘의 구체적인 설명은 아래와 같다.

첫 번째는 레이저 거리센서 데이터와 레이더 데이터를 획득하는 과정이다. 레이더 데이터의 경우 앞서 라.장에서 설명한 것과 같이 4개의 FMCW가 가상의 거리센서로 융합이 된 데이터이다. 하지만 레이저 거리센서 데이터의 경우 가상의 거리센서로 변환되지 않은 데이터이기 때문에 레이더 데이터와 기준이 달라 레이더 데이터와의 융합이 복잡해진다. 따라서 실제 레이저 거리센서 기준의 각도별 거리데이터를 차량 중심의 거리센서로 변환하여 레이더 데이터와 레이저 거리센서의 데이터의 기준을 동일하게 한다.

두 번째와 세 번째는 먼지 처리와 먼지 처리된 거리값 저장의 과정이다. 해당 두 과정은 레이저 거리센서의 탐지 범위 100° 범위 내에서 각 각도에 대하여 수행된다. 먼저 두 번째의 먼지 처리의 과정을 보면, 현재 먼지 처리를 수행 중인 각도에 대하여 FMCW 레이더 데이터의 유효성을 판단한 후 레이더의 거리값과 레이저 거리센서의 거리값을 비교한다. 해당 거리값의 비교를 통하여 차량 전방의 장애물이 먼지인지 판단한다.

앞서 설명한 것과 같이 레이저 거리센서는 통과 가능한 먼지를 장애물로 인식하고, FMCW 레이더의 경우 해당 먼지를 장애물로 인식하지 않는다. 그러므로 먼지가 존재하는 동일한 위치에 대하여 레이저 거리센서는 해당 각도의 거리에 대하여 장애물이 존재하는 데이터를 발생시키고, FMCW 레이더는 해당 각도의 먼지가 존재하는 거리 보다 더 먼 거리에 대하여 장애물이 존재하는 데이터 혹은 해당 각도에 대하여 장애물 없음의 데이터를 발생 시킬 것이다. 따라서 먼지처리를 위하여 레이더의 거리값과 레이저 거리센서가 현저하게 차이가 날 경우 레이저 거리센서에서 획득

된 거리에 먼지가 있다고 판단하고, 레이더 거리센서의 값을 실제 거리 값으로 사용하게 된다.

마지막으로 세 번째 과정은 먼지 처리된 거리값을 저장하는 과정이다. 해당 과정은 현재 먼지 처리를 수행하는 각도의 주변 각도의 FMCW 레이더 데이터 존재 유무와 레이저 거리센서의 거리간의 차이를 판단하여 두 개 이상의 장애물이 하나의 장애물로 판단되는 것을 방지한다. 해당 과정을 통하여 해당 각도에 대한 장애물과 먼지가 판단된 거리값이 저장된다.

앞선 세 가지 단계를 함께 나타낸 먼지 처리를 위한 레이저 거리센서 및 레이더 융합 알고리즘의 순서도는 Fig. 5와 같다. 해당 융합 알고리즘은 레이저 거리센서와 FMCW 레이더의 장점을 함께 이용함으로써 거리와 각도 정확도 높은 데이터를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 먼지 환경에서도 정확한 장애물 정보를 판단할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서 제안하는 먼지 처리를 위한 레이저 거리센서 및 레이더 융합 알고리즘은 연막 환경에서도 동일하게 적용할 수 있다. 그러나, 본 논문에서는 먼지 환경에 대해서만 실험을 수행했기 때문에 연막 환경에서 동작 여부는 추가 실험을 수행할 예정이다.

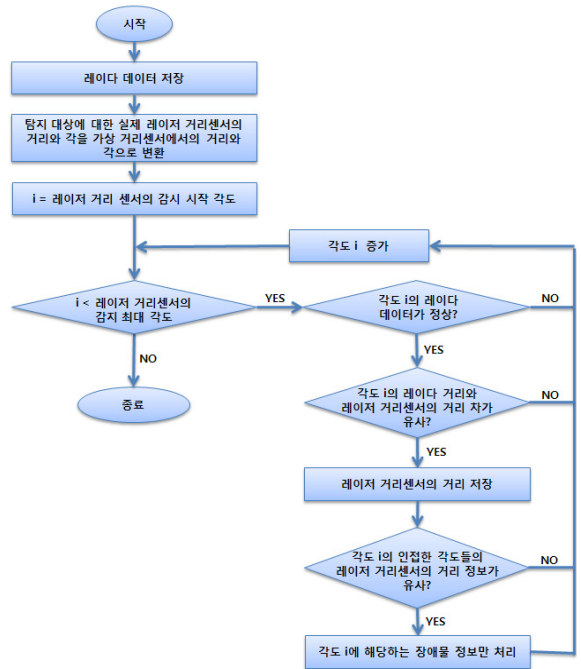


Fig. 5. 먼지 처리를 위한 레이저 거리센서 및 레이더 융합 알고리즘의 순서도



### 3. 실험환경 및 실험결과

#### 가. 실험환경

제안된 알고리즘을 검증하기 위해 실험차량을 활용하여 실제 실험을 수행하였다. 실험에 실제로 사용된 차량 플랫폼은 기본적으로 스키드 조향제어를 수행하는 6×6 구동방식의 차량 플랫폼을 사용하였다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘들을 입증하기 위해 차량 전방 중앙에 위치한 100° 이상의 수평방향으로 감지 범위를 가지며 수직방향으로 4개의 레이어를 가지는 레이저 거리센서와 차량 전방 하단에 중앙의 2개의 레이다는 전방을 지향하도록 장착되고 차량 전방 하단 좌우의 2개는 전방 방향을 기준으로 각각 좌우로 45° 지향하도록 장착되고 80° 이상의 수평방향으로 감지 범위를 가지는 총 4조의 FMCW 레이다를 사용하여 실험을 수행하였다.

Fig. 6은 실제 실험 수행지역의 그림이다. 지면은 고운 흙, 자갈 및 잡초들로 덮여 있으며, 차량이 주행하며 조향을 할 경우 먼지가 많이 일어난다. 특히, 실험 대상차량의 좌우 바퀴들의 속도 차이로 조향을 수행하는 스키드 조향 방식이기 때문에 아크만 방식의 조향제어를 수행하는 차량에 비하여 먼지가 많이 일어난다. 차량 주행 중 생성되는 먼지 환경에서도 실험을 수행하였으며, 극한 먼지 환경 실험을 위해 사람이 차량 주행 중에 진행 방향에 대해 흙과 모래를 직접 살포하여 제안 알고리즘의 정상 동작 여부를 확인하였다.



Fig. 6. 실험 수행지역

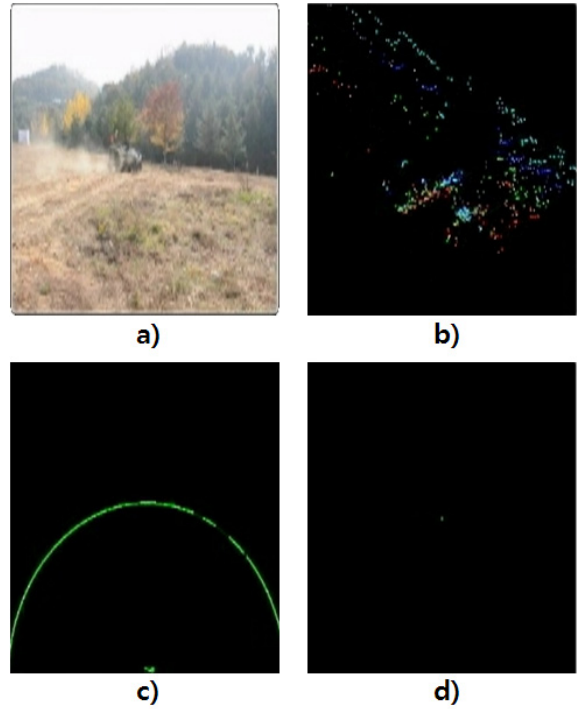


Fig. 7. 차량 주행 먼지 환경

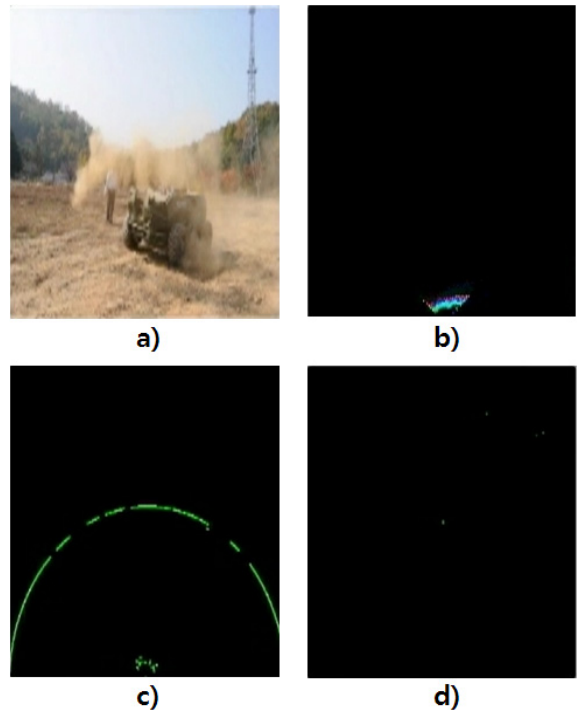


Fig. 8. 흙/모래 살포 환경

나. 실험결과

Fig. 7은 차량이 주행 중 생기는 먼지 환경에 대해 제안된 알고리즘을 실험한 결과이다. Fig. 7의 a)에서 차량 주변으로 생기는 먼지를 볼 수 있다. Fig. 7의 b)에서는 이 때 레이저 거리센서에서 획득되는 각도별 거리데이터를 확인할 수 있으며, 먼지로 인해 레이저 거리데이터가 전방에 장애물이 없음에도 불구하고 장애물처럼 근거리에서 거리데이터가 획득됨을 볼 수 있다. Fig. 7의 c)는 지면/장애물이 처리된 4 레이어 레이저 거리센서 데이터 융합 알고리즘의 결과이다. Fig. 7의 b)와 마찬가지로 전방에 장애물이 없음에도 불구하고 장애물처럼 근거리에서 거리데이터가 획득됨을 확인할 수 있다. Fig. 7의 d)는 먼지처리를 위한 레이저 거리센서 및 레이다 융합 알고리즘의 결과물로 먼지를 처리하여 차량 주위에 장애물이 없음을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 차량이 인위적으로 흙/모래 등을 차량 주행방향 전방에 살포한 환경에 대해 제안된 알고리즘을 실험한 결과이다. Fig. 8의 a)에서 차량 진행방향 전방에 사람이 양 옆에서 흙/모래 등을 살포함으로 인해 짙은 농도의 먼지가 생성됨을 확인할 수 있다. Fig. 8의 b)에서는 이 때 레이저 거리센서에서 획득되는 각도별 거리데이터를 확인할 수 있으며 짙은 먼지로 인해서 전방에 장애물이 없음에도 불구하고 대부분의 각도에서 장애물처럼 근거리에서 거리데이터가 획득됨을 확인할 수 있다. Fig. 8의 c)에서는 지면/장애물이 처리된 4 레이어 레이저 거리센서 데이터 융합 알고리즘의 결과이다. Fig. 8의 b)와 마찬가지로 전방에 장애물이 없음에도 장애물처럼 근거리에서 거리데이터가 획득됨을 확인할 수 있다. Fig. 8의 d)에서는 먼지처리를 위한 레이저 거리센서 및 레이다 융합 알고리즘의 결과물로 먼지를 처리하여 차량 주위에 장애물이 없음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 각도 및 거리 정확도가 좋은 반면 먼지 환경에 취약한 레이저 거리센서와 레이저 거리센서에 비해 각도 및 거리 정확도가 좋지 않지만 먼지 환경에 강인한 특성을 보이는 레이다를 융합하여

평상시 환경뿐만 아니라 먼지 환경에서도 정확한 장애물 정보를 제공하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 평상시 환경뿐만 아니라 먼지 환경에서 경로점 주행 및 충돌회피 실험을 통해 그 실용성을 확인하였다.

제안된 방법은 무인차량을 야지에서 운용하면서 발생하는 먼지에 대한 장애물 오인 문제를 해결에 큰 의의가 있다. 따라서 이로 인해 본 논문은 군사용으로 사용되는 무인차량의 야지 운용성 향상에 기여하였다.

Reference

- [1] Robert Dietterle, "The Future Combat System(FCS) Overview", In Proceeding of IEEE Military Communication Conference, Vol. 5, pp. 3267~3273, 2005.
- [2] MG Cartwright and Dennis Muilenburg, "FCS Overview Media Briefing", 2007.
- [3] 박용운, 강태하, "국방로봇과 자율화 기술의 발전 전망", 대한기계학회, 제46권, 제5호, pp. 44~49, 2006.
- [4] 박용운, 강태하, 강신천, 류철형, 지태영, 고정호, "개방형 아키텍처 기반의 자율주행기술 구현", 국방정보 및 제어 학술대회, pp. 176~178, 2006.
- [5] 박용운, 김준, 류철형, 최덕선, 지태영, 이승연, "JAUS 기반의 국방지상로봇 개발", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 875~878, 2005.
- [6] 최덕선, 김준, 류철형, 지태영, "DEM과 장애물 지도를 이용한 거리변환 경로계획", 정보 및 제어 학술대회, pp. 92~94, 2005.
- [7] Australian Center for Field Robotics(ACFR), "Sensor Integrity : Muti-Sensor Perception for Unmanned Ground Vehicle", ACFR-TR-2009-002, 2009.
- [8] 이기룡, 홍석교, 좌동경, "레이저 스캐너를 이용한 장애물 탐색 및 분리 알고리즘 개발", 전기학회 논문지, 제57권, 제4호, pp. 677~685, 2008.
- [9] Veelaert, P. and Bogaerts, W., "Ultrasonic Potential Field Sensor for Obstacle Avoidance", IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 15, Issue 4, pp. 774~779, 2001.