

# 트랙터 자율주행을 위한 장애물 검출에 관한 기초연구

## Basic Study on Obstacle Detection for Autonomous Tractor

|           |          |          |          |           |           |
|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| 정인규*      | 주경노*     | 김상철*     | 차진팔*     | 정선옥*      | 박우풍*      |
| 정회원       | 정회원      | 정회원      | 정회원      | 정회원       | 정회원       |
| I.G. Jung | K.N. Chu | S.C. Kim | J.P. Cha | S.O. Jung | W.P. Park |

### 1. 서론

농용차량의 자율주행을 위한 거리측정 및 장애물 검출에는 축 엔코더, 초음파 센서, 적외선 센서, 레이저 라인 스캐너, 스테레오 비전, 자이로 스코우프, CCD 카메라와 영상처리보드 등 여러 가지 센서가 특성에 따라 조합되어 사용되고 있으나 이들 센서는 각각 환경에 따른 장단점을 동시에 지니고 있다. 초음파 센서는 각 위치 정밀도가 낮고 재반사되는 문제점이 있으며, 적외선 센서는 거리를 정확히 측정할 수는 없지만 각 위치 정밀도가 좋아 장애물의 존재 유무를 정확히 검출할 수 있다.

이 연구에 사용된 레이저 라인 스캐너(Laser Line Scanner)는 레이저 거리계의 한 새로운 형태로 평면상의 주위 환경을 스캐닝함으로써 주위 물체에 대한 정확한 거리값을 제공하는 센서로 주위 환경의 밝기에 관계없이 사용할 수 있는 특징이 있다.

이 연구에서는 레이저 라인 스캐너를 이용하여 자율주행 트랙터의 주행시 주위 환경으로부터 장애물을 감지하여 GPS 수신신호를 기준으로 하여 전자지도상에 설정된 트랙터의 주행경로를 변경하도록 새로운 경로를 생성하는데 필요한 정보를 제공하기 위해서 레이저 스캐너로 측정장치를 구성하여 실험하였다. 그리하여 다른 센서들과 비교되는 스캐너 센서의 특성, 데이터의 수집 및 데이터의 보정, 장애물 및 지형인식 등에 관해서 검토하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 시스템 구성

레이저 라인 스캐너는 근적외선(파장 780nm) 다이오드에 의하여 펄스가 발생하는 발진기와 물체의 표면에 반사되어 돌아오는 펄스를 수신하는 수신기, 프리즘의 역할을 하는 회전미러, 회전미러를 360° 회전시키는 구동모터 및 광학식의 엔코더로 구성되어 있다. 스캐닝시 레이저 빔은 발진기에 의하여 내보내지고 회전미러에 의하여 90° 꺾어져 지면에 대해 수평으로 반사된다. 회전미러의 회전에 의하여 레이저 스캐너는 회전축에 수직인 평면의 360°를 스캔할 수 있다. 그림 1에 레이저 라인 스캐너의 시스템 구성도를 나타내었다.

---

\* 농업기계화연구소 재배기계과

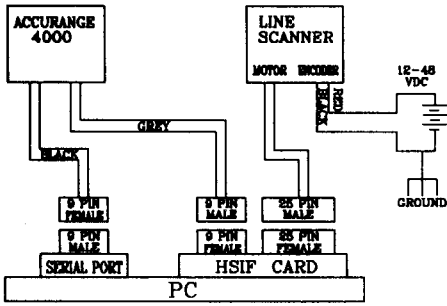


Fig. 1. Schematic diagram of laser line scanner system

로우 등도 8바이트의 데이터 흐름 속에서 읽어들이 수 있다.

#### 나. 데이터의 입력 및 보정

센서로부터의 거리값과 거리값의 보정을 위한 신호의 강도, 주위 조도, 온도 등을 받아들여 최종의 보정값이 출력되는 과정은 아래와 같은 순서로 이루어진다.

- ① 인터페이스 카드를 초기화하고, 통신 파라미터를 설정한다.

명령 입력부를 통하여 COM포트 번호와 Address number, Calibration 파일명을 입력시킨다. 인터페이스 카드를 초기화시킨 후 통신 파라미터를 설정하고(9600 baud, 1stop bit, 8 data bit, no parity), 최대 측정가능 범위(650 inches)와 sample rate(20 $\mu$ s/sample), 모터의 회전방향과 파워 수준을 통한 모터 회전속도를 설정한다.

- ② 보정 테이블을 생성한다.

Calibration file에서부터 실제 거리와 각 신호의 강도에서의 range bit, 온도 보정 계수, 온도 지수등을 읽어 들여 각각의 테이블을 생성한다.

- ③ 인터페이스로 카드부터 데이터를 받아들인다.

인터페이스로부터 샘플의 신호의 강도, 주위조도, 내부 온도, range bit, 엔코더의 Z상, 엔코더 위치(2000pulse/rev.) 등을 받아들인다. 실험에서 엔코더 위치 값은 엔코더의 Z상을 이용하여 전방 45° (좌·우 각 22.5°)범위만을 스캔하여 읽어들이었다.

- ④ 입력 데이터로부터 거리값 보정과정을 통하여 실제거리를 계산한다.

최대 측정가능 범위와 샘플 주기로부터 resolution(거리지수)을 계산하여 입력된 거리값을 보정한다. 신호의 강도와 입력된 거리값을 테이블을 통하여 보간법으로 거리를 계산한 다음 마지막으로 계산된 거리를 온도 보정계수를 이용하여 온도 변화에 따른 거리 변화값을 보정한다

#### 다. 레이저 스캐너 센서 특성시험 및 장애물 인식시험

레이저 스캐너 센서의 특성과 지형 및 장애물 검출성능을 구명하고자 실외에서 주야간에

물체의 ① 최대인식거리 시험 ② 조도·재질별 물체 인식 시험 ③ 장애물 및 지형인식 시험 등을 실시하여 새로운 형태의 레이저 시각장치로서의 가능성을 밝히고자 하였다.

입력되는 거리값은 물체의 표면에서 레이저 스캐너 센서의 중심부로의 입력값으로서 중심부에서부터 좌·우 각 22.5°까지의 대각선 값을 읽어들이며 각도별로 COSINE 값을 곱한 실제값을 얻어 물체까지의 거리와 물체의 폭을 결정할 수 있도록 하였다.

실험장치는 레이저 라인 스캐너를 기구부에 고정시키고 미리를 회전시켜 물체의 표면에서 반사되어 돌아오는 거리값을 I/O 카드를 통해 고속으로 읽어들이며 프로세서에서 처리하여 보정된 값을 모니터에 디스플레이하고 파일로 저장이 되도록 하였다. 실험장치의 구성도는 그림 2와 같다.

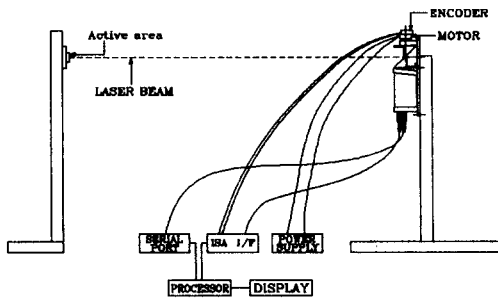


Fig. 2. Experimental apparatus

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 데이터 인터페이스

데이터 입출력은 8비트 I/O 포트를 통하여 이루어지는데 포트 0(선택된 200Hex 번지의 베이스 어드레스)를 통하여 데이터의 입력 및 제어명령의 출력이 이루어지며 포트 1에서 버퍼의 상태를 검사하고, 포트 2를 통하여 모터의 속도조절을 위한 파워레벨과 모

터의 회전방향을 제어하는 신호를 보낸다. 8바이트의 입력데이터의 포맷을 보면, 바이트 0, 바이트1, 바이트 2에서 순서대로 신호의 강도, 주위조도 및 센서 내부의 온도를 받아들이고 바이트 3, 바이트 4, 바이트 5의 조합으로부터 19비트의 거리값을 읽어들이는다. 그리고 바이트 6에서는 모터의 엔코더 위치를 읽어들이도록 포맷된다. 표 1과 표2에 I/O 포트 어드레스와 데이터 포맷 형태를 각각 나타내었다.

Table 1. I/O port address map

| Offset from base address | Access     | Function                                   |
|--------------------------|------------|--|
| Port 0                   | Read-Write | Read : Sensor Data<br>Write : Send Command |
| 1                        | Read only  | Buffer Status                              |
| 2                        | Write only | Motor Power, Direction                     |

#### 나. 레이저 스캐너 센서의 물체인식 특성

레이저 스캐너 센서의 물체인식 특성을 알아보기 위하여 레이저 스캐너 센서의 최대물체 인식거리, 주위 조도별 인식오차, 물체 재질별 인식성능 시험을 실시하였다. 최대인식거리 실험은 재질 중 인식이 가장 잘되는 것 중의 하나인 4cm 폭의 금속막대를 가지고 실험한

Table 2. Sampled data format

| Byte number    | Data Format  |
|----------------|--|
| Byte 0         | Amplitude Sample   |
| Byte 1         | Ambient Light Sample                                     |
| Byte 2         | Internal Temperature                                     |
| Byte 3         | Bits 7-5 : 3 Least significant bits of range(bits 0,1,2) |
|                | Bit 4 : Always 0   |
|                | Bit 3 : Data lost/Buffer overflow                        |
|                | Bit 2 : Input 3  |
|                | Bit 1 : Input 2/Motor index                              |
| Bit 0 : Unused |  |
| Byte 4         | Range bits 3-10  |
| Byte 5         | Range bits 11-18   |
| Byte 6         | Motor Encoder Position                                   |
| Byte 7         | Unused   |

그리고, 레이저 스캐너 센서의 인식 가능한 물체의 종류를 알아보기 위하여 재질별 인식 성능 시험을 실시한 결과, 금속성이나 반사체와 같이 표면에서 반사가 잘되는 물체는 매우 정확하게 그 거리를 인식하였으나 유리, 섬유, 목재와 같이 레이저광을 흡수하는 성질이 있는 물체는 반사성능이 떨어져 실제 값보다 작은 값을 인식하는 것으로 나타나, 물체에 따라

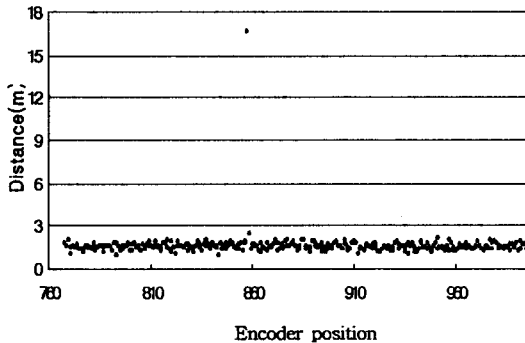


Fig. 3. Maximum detecting distance

다. 레이저 스캐너 센서의 장애물 및 지형인식 성능

레이저 스캐너 센서의 장애물 및 지형인식 성능을 알아보기 위하여 정지해 있는 자동차와 논둑사면 및 장애물 사이를 스캐닝하여 그 인식성능을 측정하였다. 정지해 있는 자동차의 경우 스캐닝한 표면의 부분적인 재질의 변화 및 반사각도 등에 따라 거리값이 다소의 차이가 있었으나 비교적 정확하게 인식하여 평균적인 거리와 계산을 통한 자동차의 폭을 구할

결과 최대 약 16.6m의 인식성능을 나타내었다. 그림 3에서 약 1.5~2.0m의 인식 거리 값은 레이저 스캐너 센서의 인식범위 안에 물체가 없을 때 기본적으로 인식되는 거리 값이다.

레이저 스캐너 센서의 어두운 곳에서의 물체인식 성능을 알아보기 위하여 주간과 광이 거의 없는 야간에 역시 4cm 폭의 금속막대를 가지고 조도별 인식오차를 실험한 결과 6회 반복 평균오차가 0.09~0.47mm 범위로 나타나 레이저 스캐너 센서는 주위조도와 상관없이 물체를 인식하는 것으로 나타났다.

서는 전방에 장애물로 인식은 되나 정확한 거리는 알 수 없을 것으로 나타났다. 이는 물체표면에서의 흡수로 인해 레이저광의 강도가 약해지기 때문인 것으로 판단된다. 그림 4, 그림 5에 주위 조도별 인식오차, 재질별 물체 인식성능을 각각 나타내었다.

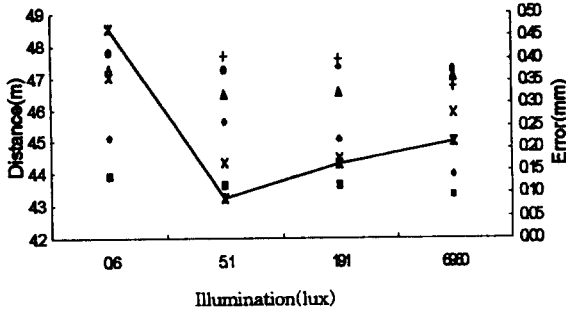


Fig. 4. Detecting error in each illumination

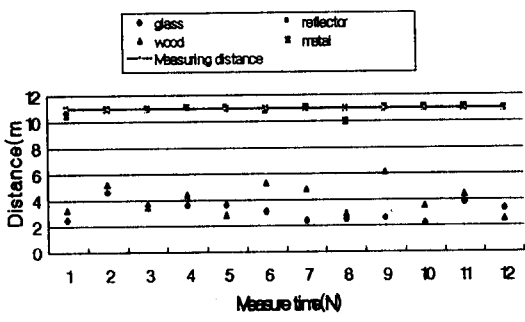


Fig. 5. Available detecting distance for different target materials

그림 6, 그림 7, 그림 8에 정지해 있는 자동차와 논둑사면 및 장애물 폭 인식성능을 나타내었다.

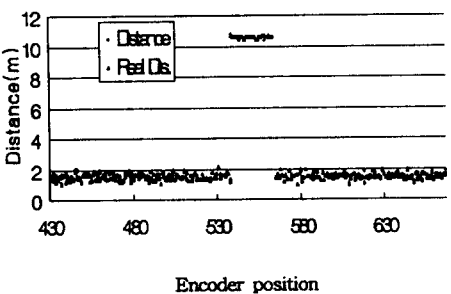


Fig. 6. Detecting distance for stopped automobile

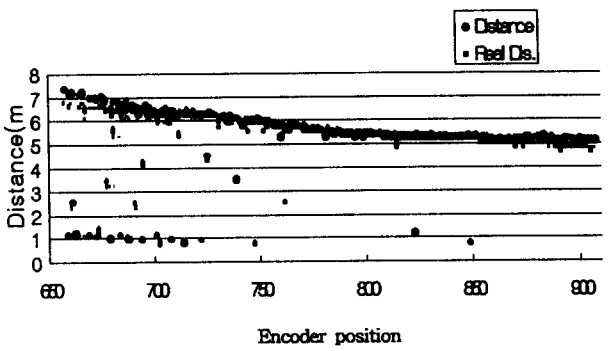


Fig. 7. Detecting distance for the slope of the levee

수 있었으며, 논둑사면의 경우도 반사되는 표면의 종류, 반사각도 및 레이저 광의 난 반사등에 의해서 부정확한 값이 그림 7에서와 같이 가끔 들어왔으나 전체적인 값의 분포로부터 레이저 스캐너 센서의 전면 45°에 걸쳐 지형 장애물이 있음을 알 수 있을 것으로 판단되었다. 여기서 Real distance는 센서중심에 대한 물체표면까지의 대각거리를 실제의 거리값인 최단 거리값으로 보정한 값이며 Encoder position은 전방 45°범위내의 인식 위치이다.

장애물간의 폭을 구하기 위한 실험에서는, 그림 8에서 보는 바와 같이 장애물이 존재하는 곳과 존재하지 않은 곳의 경계면에서 측정값이 흩어지는 것을 알 수 있으나 이는 소프트웨어적인 보정방법으로 다소 오차를 줄여 장애물간의 폭을 근사적으로 구하여 트랙터의 주행가능 여부를 판별할 수 있을 것으로 판단되었다.

이상의 결과를 바탕으로 레이저 스캐너 센서를 트랙터의 실시간 자율주행 시각장치로 이용하기 위해서는 현재 초당 11라인(Line) 정도인 처리속도를 좀 더 향상시키고 실제 주행시

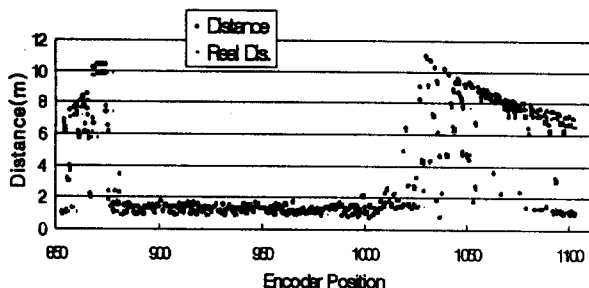


Fig. 8. Detecting width between obstacles

지하여 기본적인 GPS 수신신호에 의한 트랙터의 주행경로를 변경하여 새로운 경로를 생성할 수 있도록 하기 위해서 레이저 스캐너 센서 시스템을 구성하여 물체로부터의 반사된 거리값을 측정하는 실험을 수행하여 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

1. 레이저 스캐너 센서로부터 거리 신호를 입력 받아 고속으로 처리할 수 있는 레이저 시각장치를 구성하여 전방 45° 범위의 물체를 인식하여 19bit의 이진 출력값을 온도 및 주위조도 변화에 대한 특성치를 이용하여 보정된 실거리 출력값을 얻을 수 있는 프로그램을 개발하였다.

2. 실험에 사용한 레이저 스캐너 센서는 최대 2.54mm의 오차로 약 16.6m의 최대물체 인식거리를 가지는 것으로 나타났으며, 주위 조도별 인식오차를 보면 주위의 조도에 상관없이 오차가 거의 비슷하게 나타나 레이저 스캐너 센서는 야간에도 장애물이나 지형을 인식할 수 있는 특징을 보였다, 물체 재질별 인식성능 결과를 보면 금속성이나 반사체 등 반사가 잘 되는 재질은 매우 정확하게 인식을 하였으나 나무나 유리등 재질에 따라서는 매우 낮은 인식성능을 보였다.

3. 레이저 스캐너 센서의 장애물 및 지형인식 성능을 알아보기 위하여 정지해 있는 자동차와 논둑사면 및 장애물 사이를 스캐닝하여 그 인식성능을 측정한 결과 정지해 있는 자동차의 경우 표면재질 등에 따라 거리값이 다소의 차이가 있었으나 비교적 정확하게 인식하여 평균적인 거리와 계산을 통한 자동차의 폭을 구할 수 있었으며, 논둑사면의 경우는 표면특성에 따라 부정확한 값이 가끔 들어왔으나 전체적인 값의 분포로부터 지형검출이 가능할 것으로 나타났다.

4. 장애물간의 폭을 구하기 위한 실험에서는, 장애물의 경계면에서 측정값이 흩어졌으나 이는 소프트웨어적인 보정 방법으로 다소 오차를 줄여 장애물간의 폭을 근사적으로 구할 수 있을 것으로 판단되었다. 그리고 레이저는 측정시 재질에 따라 물체표면에서의 흡수에 의한 손실로 수광부에 입력되는 값이 실제거리 값보다 큰 경우는 없고 항상 작은 값이 들어오는 특성이 있으므로 레이저의 손실에 대한 보정법이 강구되어야 하는 것으로 나타났다.

의 물체 인식 특성을 앞으로 더 면밀히 구명하여야 안정성 있는 시각센서로서 사용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

레이저 라인 스캐너 센서를 자율주행을 위한 새로운 형태의 시각장치로 이용하기 위한 기초연구로서, 트랙터 주행시 주위 환경으로부터 장애물을 감

## 5. 참고문헌

1. 차영엽, 권대갑. 1994. 자율주행 로봇의 실시간 조종을 위한 레이저 거리계.
2. 차영엽, 권대갑. 1995. 레이저거리계를 이용한 자율주행 로봇의 국부경로계획 알고리즘
3. Reina, Gonzalez. 1997. Characterization of a Radial Laser Scanner for Mobile Robot Navigation.
4. Montano, Asensio. 1997. Real-Time Robot Navigation in Unstructured Environments Using a 3D Laser Rangefinder.
5. K. Azarm, G. Schmidt. 1994. Intergrated mobile robot motion planning and execution in changing indoor environments.
6. A Bemporad, A. De Luca, G. Oriolo. 1996. Local incremental planning for a car-like robot navigating among obstacles.
7. J. Borensterin, Y. Koren. 1989. Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots.
8. J. Borenstein, Y. Koren. 1991. The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots.
9. J. M. Cameron, D. C. MacKenzie, R. C. Arkin, W. J. Book. 1993. Reactive control for mobile manipulation.
10. J. A. Castellanos, J. D. Tardós. 1996. Laser-based segmentation and localization for a mobile robot.
11. J. L. Crowley. 1995. Mathematical foundations of navigation and perception for an autonomous mobile robot.
12. J. Horn, G. Schmidt. 1995. Continuous localization of a mobile robot based on 3d-laser-range-data, predicted sensor images and dead-reckoning.