

자율주행 트랙터의 장애물 검출 및 회피 알고리즘 개발

Development of Obstacle Detection & Avoidance Algorithm for Autonomous Tractor

정인규* 박우풍* 김상철* 정선옥* 황성준*
성회원 정회원 정회원 정회원 정회원

I.G. Jung W.P. Park S.C. Kim S.O. Chung S.J. Hwang

1. 서 론

농용 트랙터는 농작업에서 다목적으로 쓰이는 농기계로서 무인화가 이루어졌을 때 농지의 인력 부족 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대되며, 또한 무인화 기술은 기타 콤바인, 고속 분무기, 이앙기 등 유사 농기계에도 적용될 수 있다.

트랙터의 자율주행을 위해서는 트랙터의 현재 위치, 방위각, 조향각, 주행속도 등의 정확한 자세 검출이 필요하다. 이를 위하여 고도의 정밀도를 가진 DGPS 시스템을 이용하면 트랙터의 위치, 방위각, 주행속도 등을 실시간으로 알아낼 수 있다.

그러나, 자율 주행에 있어서 주행 경로상에 예기치 못한 장애물들이 나타났을 때, 이를 어떻게 효과적으로 감지하여 회피할 것인가에 대한 문제가 제기된다. 차고에서 포장까지 트랙터가 농작업을 위해 이동할 때 차량이나 적재물 등이 주행 경로 상에 존재할 수 있으며, 그러한 장애물들을 감지하여 회피하여 주행 또는 정지하여야 한다.

DGPS를 장착한 트랙터의 위치와 방향은 DGPS의 정확도에 따라 달라지게 된다. 따라서 레이저 스캐너를 이용한 장애물의 위치 측정 정밀도는 DGPS의 정확도에 달려 있으며, 장애물 회피 알고리즘은 DGPS의 정확도에 따라 그 성능에 차이가 날 수 있다. 또한, GPS를 이용한 자율 주행 트랙터가 주어진 경로를 따라 주행할 때 중요한 것은 경로에 근접하게 차량이 움직여야 한다는 것이다. 이에 본 연구에서의 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

레이저 라인 스캐너의 장점을 이용하여 자율주행 트랙터의 주행시 주행경로상의 장애물을 감지하여 GPS 수신신호를 기준으로 전자지도상에 설정된 트랙터의 주행경로를 장애물의 거리 및 폭을 고려하여 장애물이 존재하는 곳에서는 새로운 경로를 생성하며 자율 주행하는데 필요한 정보를 제공하기 위해서

- 1) 레이저 라인 스캐너 센서의 특성, 데이터의 수집 및 데이터의 보정 등에 관해 고찰하고,
- 2) DGPS의 정밀도에 따른 장애물 회피 알고리즘의 수행 능력을 시뮬레이션 및 실제 실험을 통해 평가하여 트랙터나 차량의 자율주행을 보완해 줄 수 있는 센서로서의 역할에 관해 검토해 보고자 하였다.

* 농업기계화연구소 생물생산기계과

2. 재료 및 방법

가. 공시 트랙터

본 연구에서는 대동 26마력 트랙터(2,930×1,350×1,970mm)를 대상으로 실험하였으며 시뮬레이션에서 조향방법은 핸들을 돌려 앞바퀴의 각도를 바꾸는 방식을 채택하였다.

나. 레이저 라인 스캐너

본 연구에서 기준 모델로 채택한 레이저 라인 스캐너는 Acuity Research Incorporated사의 AccuRange 4000-LIR 로서, 이 스캐너 센서는 반도체 다이오드에 의하여 근적외선(파장 780nm) 펄스가 발생하는 발진기와 물체의 표면에 반사되어 돌아오는 펄스를 수신하는 수신기, 프리즘의 역할을 하는 회전미러, 회전미러를 360° 회전시키는 구동모터 및 광학식의 엔코더로 구성되어 있다. 본 연구에서 장애물 회피 시뮬레이션을 위해 설정한 레이저 라인 스캐너의 성능은 표 1과 같다.

Table 1. Performance of laser line scanner for simulation

Items	Performance
Available scanning angle	180°
Resolution for horizontal plane	5°
Available scanning distance	10m
Scanning step for longitudinal plane	0.5m
Scanning rate	0.2sec/revolution

다. DGPS를 이용한 주행방향 결정 알고리즘

본 연구에서는 DGPS 시스템의 정밀도를 2cm, 5cm, 10cm, 20cm 등 총 4가지 경우로 가정하여 장애물 회피 시뮬레이션을 실시하였다.

평면좌표를 기준으로 하여 DGPS 수신기로부터 받은 신호를 이용하여 현재 트랙터의 위치를 나타내고 트랙터가 따라가야 할 주행 경로에 따라 DGPS 수신기로부터 받은 현재의 좌표와 목표점의 좌표를 이용하여 기체의 조향각을 결정한다. 그림 1은 주행시 조향각을 결정하는 방법을 보여준다. 그림 1에서 $T_{-1}(x_{-1}, y_{-1})$ 은 DGPS에서 얻은 바로 이전의 좌표이고, $T_0(x_0, y_0)$ 은 DGPS에서 얻은 현재의 트랙터의 좌표이다.

$T_{+1}(x_{+1}, y_{+1})$ 은 주행경로 설정에서 가야할 좌표 지점, 즉 목표점이다. 이때, 이러한 좌표로 얻을 수 있는 벡터 $\vec{V}_{next} = (x_{+1} - x_0, y_{+1} - y_0)$ 와 $\vec{V}_{prev} = (x_0 - x_{-1}, y_0 - y_{-1})$ 을 이용하여 조향각 θ 와 방향을 다음의 벡터 외적 공식으로 구할 수 있다.

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{|\vec{v}_{next} \times \vec{v}_{prev}|}{|\vec{v}_{next}| |\vec{v}_{prev}|}\right) \quad \text{여기서, } |\vec{V}_{next}| = \sqrt{(x_{+1} - x_0)^2 + (y_{+1} - y_0)^2}$$

$$|\vec{V}_{prev}| = \sqrt{(x_0 - x_{-1})^2 + (y_0 - y_{-1})^2}$$

$$|\vec{V}_{next} \wedge \vec{V}_{prev}| = |x_{+1}y_0 - x_{+1}y_{-1} + x_0y_{-1} - x_0y_{+1} + x_{-1}y_{+1} - x_{-1}y_0|$$

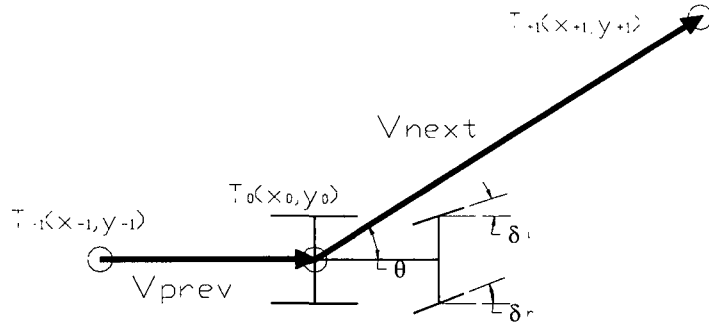


Fig 1. Schematic diagram of determine steering angle

라. 장애물 인식 및 회피 알고리즘

장애물 회피를 위한 새로운 경로점은 그림 2와 같이 장애물이 없는 구간을 나누어 Cosine 제2 법칙에 의해 그 폭이 트랙터가 주행할 수 있는 폭인지를 계산한 후, 장애물에서 어느 정도의 여유를 둔 곳에 새로운 목표점을 설정한 후, 새로운 목표점과 원래 목표점과의 이루는 각도 중에서 작은 값을 선택하여 최종 목표점으로 선택한다.

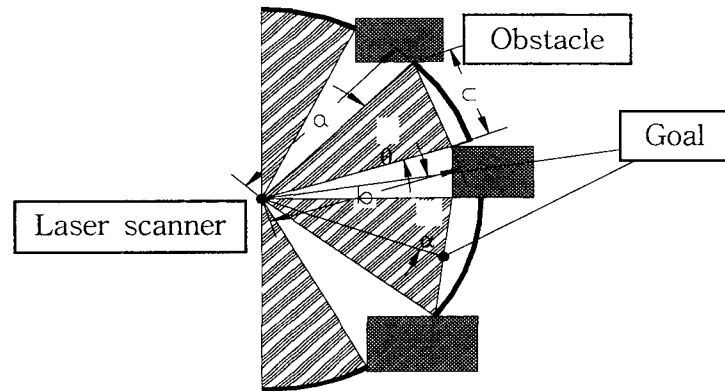


Fig 2. Schematic diagram of path find with obstacle avoidance algorithm

마. 포장 주행 성능시험

실제 포장에서 장애물 회피 알고리즘의 성능을 알아보기 위하여, 주행시 GPS에 의해 주행방향을 결정하고 새로운 경로를 생성하는 시험을 실시하였다. DGPS 신호는 2Hz의 속도로 수신되며, 미리 정해진 경로를 따라 사람이 주행하는 방법으로 시험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 입력신호 보정

레이저 스캐너 센서로 입력된 초기값에는 노이즈가 포함되어 있고 또한 자율주행을 위해 요구되는 영상 신호가 아니므로 다음의 여러 단계의 처리를 거쳐 신호보정을 한다.

우선 입력신호 각각에 대해 주변값과의 비교를 통해 입력신호 노이즈를 제거하고 다음으로 입력신호를 분할하여 장애물이 없는 공간으로 트랙터가 주행할 수 있는 지를 계산할 수 있게 하고, 끝으로 입력신호에 대한 직선화를 하여 입력신호를 더 단순화한다.

그림 3은 입력 신호에 대한 노이즈 제거 및 신호분할 알고리즘의 처리 결과를 나타낸 것으로 신호처리 결과 초기의 노이즈들이 대부분 제거되고 물체의 2차원 형상 및 위치가 분명하게 나타나는 것을 알 수 있다.

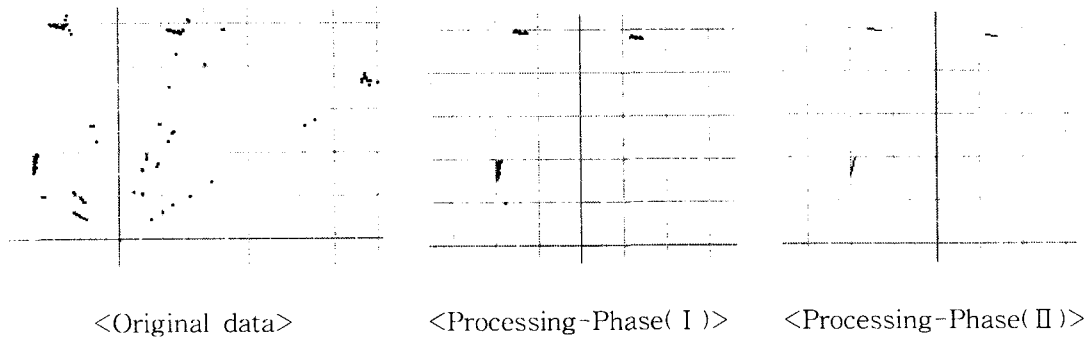


Fig 3. Result of signal processing

그림 4는 실제의 주변 환경을 인식한 것으로 레이저 스캐너에 의해 장애물과 주행할 수 있는 경로를 판단하는 것이 가능함을 보여주고 있다.

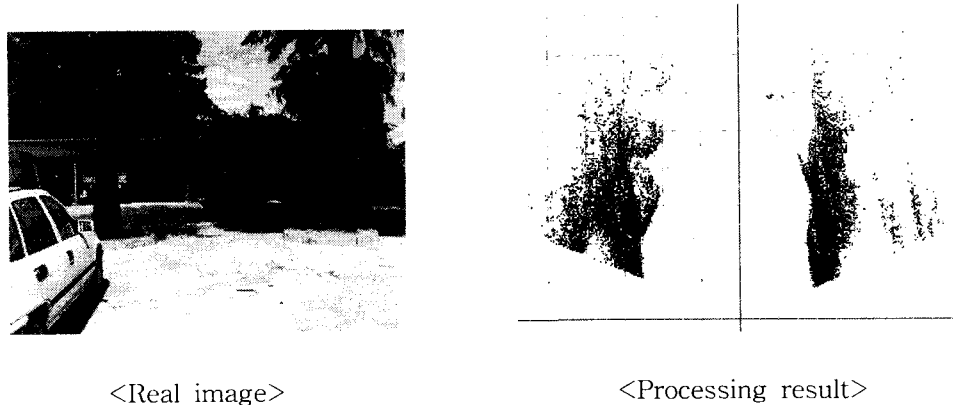


Fig 4. Result of obstacle detection

다. 장애물 검출 및 회피 알고리즘 시뮬레이션 결과

장애물 회피 알고리즘의 성능을 시험하기 위하여 여러 가지 유형의 장애물을 임의적으로 만든 후 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션에서 트랙터는 1m/s의 등속도 주행, 순간 조향각은 0.6rad/s으로 하고, DGPS 신호는 2Hz의 속도로 수신되며, 5m 간격의 직선 경로 35m를 주행하는 것으로 하였다. 그리고, 주행 시뮬레이션에는 Borland C++ 3.1을 사용하였다. 그림 5와 6은 DGPS의 정밀도에 따른 트랙터의 장애물 회피 시뮬레이션의 결과로 그림 5, 6에서 알 수 있듯이 DGPS의 정밀도에 따라 장애물 회피 정도가 달라지는 것을 볼 수 있다. DGPS 정밀도 2cm와 5cm일 때의 결과는 비교적 양호하나 정밀도 10cm와 20cm일 때는 적절한 회피가 이루어지지 않았다.

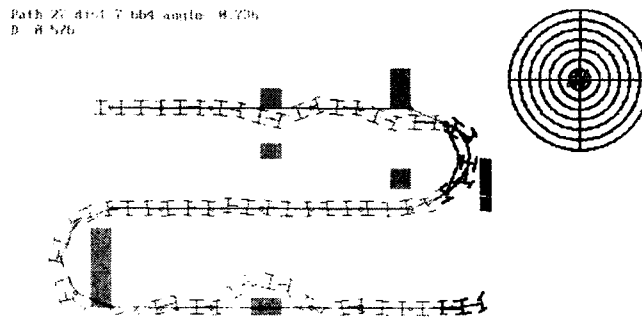


Fig 5. Simulation result for obstacle avoidance with 5cm DGPS accuracy

이는 주행시 장애물의 방향과 절대좌표를 어느 정도 범위에서는 정확히 계산해야만 새로운 목표점을 생성할 수 있는데, DGPS의 정밀도가 떨어지면 장애물의 방향이 실제와 크게 달라져 새로운 목표점을 엉뚱한 곳에 찍는 결과가 나타나기 때문이다.

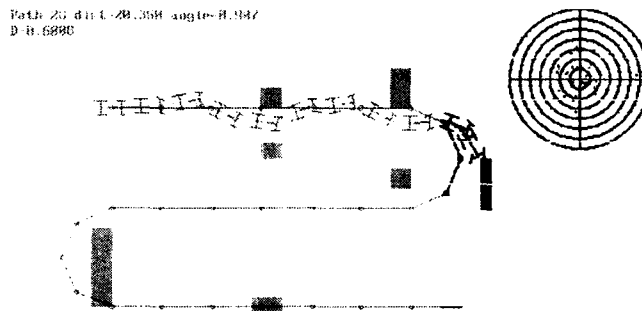


Fig 6. Simulation result for obstacle avoidance with 20cm DGPS accuracy

위의 결과를 토대로 레이저 스캐너 센서를 이용하여 효과적인 장애물 회피를 위한 새로운 경로생성을 위해서는 DGPS 정밀도가 5cm 이내이어야 함을 알 수 있다.

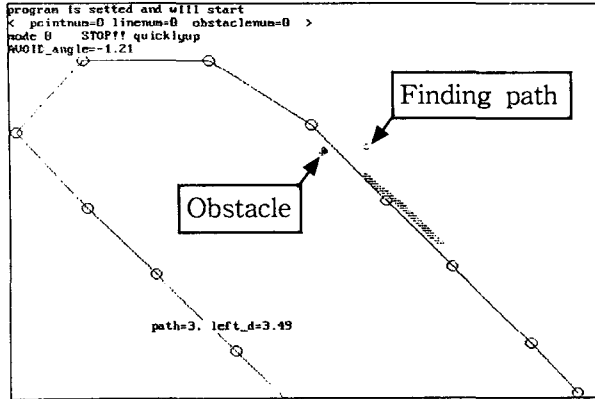


Fig 7. Result of field test on obstacle avoidance algorithm

다. 장애물 검출 및 회피 알고리즘에 대한 포장시험 결과

실제 포장에서 장애물 회피 알고리즘의 성능을 시험해 본 결과, 그림 7에서 보는 바와 같이 주행시 경로상에 장애물이 나타나면 GPS에 의해 주행방향을 결정하고 장애물의 위치에 따라 회피를 위한 새로운 경로를 생성하는 것이 가능함을 알 수 있었다. 이 때 DGPS 신호는 RMS 값으로 2cm 오차를 가지는 수신기로 2Hz의 속도로 수신하며 시험결과를 얻었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 트랙터의 자율주행에 필요한 장애물 정보를 제공하고 새로운 경로 생성을 위한 장애물 검출 및 회피 알고리즘에 대한 시뮬레이션 및 실제 주행실험을 통하여 레이저 스캐너 센서 및 개발된 알고리즘에 대한 성능을 평가하고자 수행하였다.

(1) 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 통하여 DGPS의 정밀도에 따라 장애물 회피 성능에 차이가 있음을 알 수 있었는데, 이는 주행시 장애물의 방향과 절대좌표를 어느 정도 오차내에서는 정확히 계산해야만 새로운 목표점을 생성할 수 있는데, DGPS의 정밀도가 떨어지면 장애물의 방향이 실제와 크게 달라져 새로운 목표점을 엉뚱한 곳에 찍는 결과가 나타나기 때문이다. 즉, 효과적인 장애물 회피를 위해서는 DGPS 정밀도가 5cm이내가 되어야 함을 알 수 있었고 또한, 최적의 주행을 위해서는 목표점 약 1.5m 전방에서 그 다음 목표점을 위한 주행을 고려하는 것이 적당하다는 것도 알 수 있었다.

(2) 실제 포장 성능시험을 통해서도 무인 트랙터의 주행시 경로상에 장애물이 나타나면 GPS에 의해 주행방향을 결정하고 장애물의 위치에 따라 회피를 위한 새로운 경로를 생성하는 것이 가능함을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 고경철. 1993. 자율 주행방식의 이동 로봇을 위한 경로 제어 알고리즘에 관한 연구.
2. 정선욱. 1998. DGPS와 Gyro Compass를 이용한 트랙터의 자세검출. 한국농업기계학회지 Vol. 23(2). 179-186.
3. 차영엽, 권대갑. 1994. 자율주행 로봇의 실시간 조종을 위한 레이저 거리계. 한국정밀공학회지. Vol. 11(3). 131-139
4. Fujiwara K. 1981. Guideless robot vehicles. Material on Vehicle Automation. No. 8. 10-17