

자율주행시스템을 이용한 콤바인의 무인자율 선회 및 곡선 주행

Performance of Automatic Guidance System for Combine at Turning and Curved Paths

| | | | |
|------------|------------|----------------|-----------|
| 최창현* | 양원준* | 남궁만준* | 김용주* |
| 정회원 | 정회원 | 정회원 | 정회원 |
| C. H. Choi | W. J. Yang | M. J. NahmGung | Y. J. Kim |

1. 서론

최근 농작업은 급속히 기계화, 자동화, 시스템화되고 있으며 정밀농업을 실현하기 위한 효율적인 시스템 운용기술에 관한 농민들의 수요가 급증하고 있고, 농촌 인구의 감소에 의한 노동력 부족현상과 3D 기피현상은 갈수록 심화되고 있는 실정에서 농업기계의 자동화·무인화는 시급한 실정이다.

농용차량의 자율주행을 위해서는 위치파악, 센서기술, 알고리즘 개발, 구동회로 구성, 액추에이터 선정 등의 다양한 요소기술이 필요하고 각 요소별로 다양한 기법과 장비가 개발되어야 한다. 나아가 차량의 현재 위치, 방위각, 조향각, 차량의 주행속도 등의 차량자세를 정확히 검출하는 것은 농용차량이 예정된 경로를 추종하여 자율주행을 하기 위한 필수적 요소이고, 현재 가장 많이 사용되고 있는 장치는 GPS와 자이로 센서이다. 특히 GPS는 날씨나 시간, 지형 등에 관계없이 인공위성에서 발신하는 정보를 수신하여 정확한 위치 정보를 획득할 수 있는 것으로, 농업분야에서는 보다 더 정밀도가 높은 DGPS가 사용되고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 포장에서 콤바인의 위치인식 및 경로탐색의 도구로서 DGPS와 자이로 센서 등의 센서를 이용하고, 진진, 곡선, 선회주행의 알고리즘을 개발하며, 장애물을 검출하여 자율주행이 가능한 콤바인의 무인 자율주행시스템을 개선하고 성능을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 재료

실험에 사용된 콤바인(KC300, Kookje Co., Korea)은 3조식이고, 배기량이 1492 cc인 3기

* 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스전공

통 디젤엔진이 장착되어 있으며, 주행부, 예취부, 탈곡부는 유압장치에 의해 조정되므로 제어가 매우 용이하며, 콤바인의 작업상태를 감지할 수 있는 경보장치와 탈곡깊이의 자동 제어장치가 장착되어 있다. 콤바인의 자율주행 시스템은 포장에서 작업중인 콤바인의 위치를 측정할 수 있는 DGPS(RT-STAR, Canadian Marconi Co., Canada), 콤바인의 주행 방향을 측정할 수 있는 자이로 센서(DGS³, KVH Industries Inc., USA), 장애물의 감지를 위한 초음파 센서, 콤바인의 주행방향을 조정하는 유압장치, 조향방향을 조정할 수 있도록 서보모터로 구성된 조향장치, 마이크로 컴퓨터로 구성된 제어기와 입출력 인터페이스(SCXI, National Instrument Co., USA)로 구성되어 있다. 무인자율주행 시스템은 설정된 직선의 기울기와 현재의 콤바인의 거리를 판단하여 조향하며, 콤바인의 운반 등을 위하여 도로에서 주행할 때 운전자가 수동으로 운전이 가능하도록 설계하였다. 시스템의 오작동이 발생하였을 때 무인주행을 즉시 중단할 수 있도록 비상 제동장치를 설치하였다.

DGPS 장치는 수신안테나, 실시간 GPS 수신장치, 모뎀(SNRDS, GLB Co.)으로 구성되어 있고, 실시간에서 10 cm의 CEP(circular error probable)를 가지고 있으므로 소구획 포장에서 위치를 판단하는데 적합하다. 기지국(base station) 설정을 위한 GPS 운용 프로그램은 GPS 제작회사에서 제공한 Starview(ver 7.4)를 이용하였다.

유압장치는 콤바인에 장착된 유압펌프, 솔레노이드, 유압실린더 등으로 구성된 작동부, 유압의 솔레노이드를 제어하는 컨트롤 보드, I/O 인터페이스, 마이크로 컴퓨터로 구성되어 있다. 유압장치는 콤바인의 운반 등을 위하여 도로에서 주행할 때를 고려하여 운전자가 수동으로 운전이 가능하도록 콤바인 자체의 유압장치와는 독립적으로 작동하도록 구성되어 있으며, 시스템에서 오작동이 발생하였을 때 무인 자율주행을 즉시 중단할 수 있는 안전 스위치를 2 곳에 설치하였으며, 원격 조정기(remote controller)로 브레이크 장치를 작동시킬 수 있도록 비상 제동장치를 부착하였다.

콤바인이 주행할 때 장애물로 인하여 주행이 어려울 경우를 위하여 콤바인 옆쪽에 초음파 센서(ULTRA-120A, Pulsonic Co., USA)를 부착하였다. 초음파 센서는 약 30 cm에서 250 cm까지 측정이 가능하고 측정된 거리는 전압으로 출력된다. 초음파 센서의 신호를 입출력 인터페이스(SCXI)의 아날로그 입력으로 받아들여서, 1 m 이내에서 장애물이 발견되면 콤바인에 정지신호를 주어서 콤바인을 멈추게 하였다. 각 센서와 인터페이스 사이의 신호에 흐름은 <그림 1>과 같다.

나. 제어 알고리즘

콤바인의 무인 자율주행을 위하여 GPS 신호와 자이로 센서의 신호를 수신하는 수신 프로그램, DGPS 등의 센서의 신호를 계산하고 판단하여 유압 실린더와 서보모터로 구성된 조향장치를 제어하는 컨트롤 프로그램, 획득된 GPS 데이터를 분석하기 위하여 데이터를 저장하는 저장 프로그램 등 3개의 프로그램을 개발하였다. 프로그램을 3개로 나누어 개발한 이유는 세 가지 프로그램을 하나의 통합 프로그램으로 개발하는 것보다 알고리즘 처리의 시간단

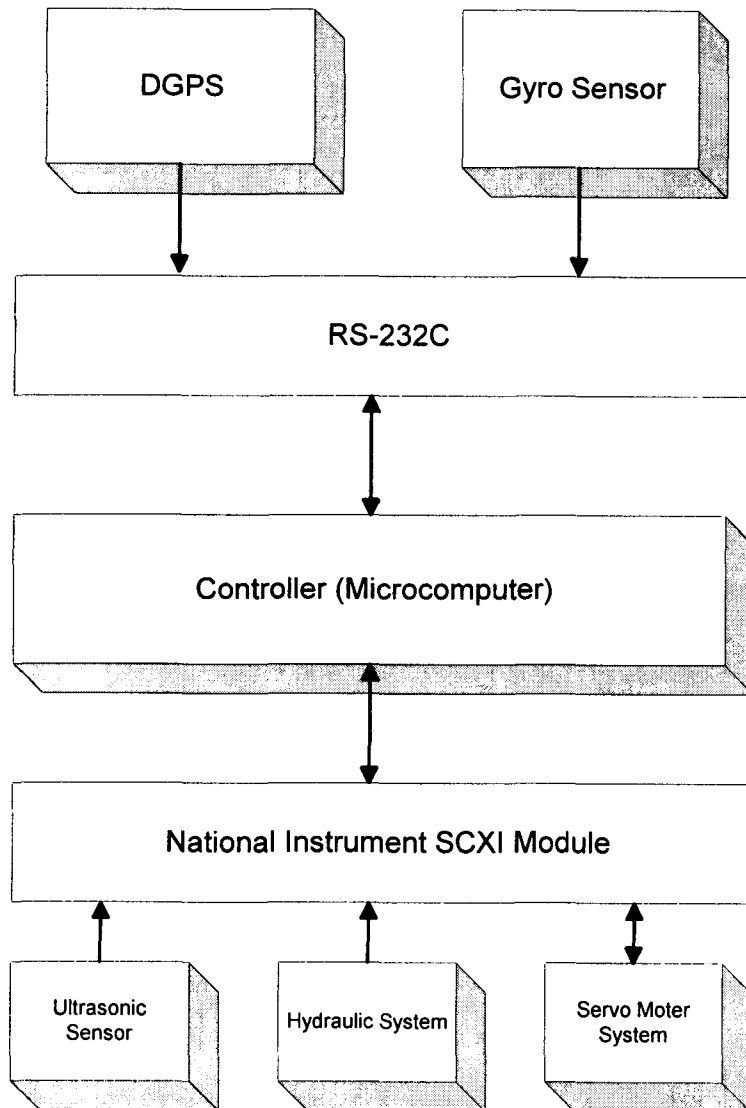


Fig. 1 Diagram of automatic guidance system.

측과 마이크로 컴퓨터 자체의 부하를 줄일 수 있고, 개발자 측면에서 본다면 수정이 용이하고 데이터의 포맷을 미리 약속하고 개발하기 때문에 개발시간을 단축시키는 효과를 가져올 수 있기 때문이다.

각 프로그램 사이에 데이터 전송은 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 이루어지며 DGPS의 신호 중에서 원하는 신호만을 선택하여 사용할 수 있게 구성하였다.

DGPS 신호와 자이로 센서의 데이터를 수신하는 수신 프로그램은 Visual C++를 사용하여 개발하였으며, 이 프로그램은 하드웨어에서 제공하는 바이너리(binary) 포맷을 이용하여 DGPS 데이터 중 UTC Time, 위도, 경도, 고도, GPS 모드, 속도와 자이로 센서의 피치(pitch), 좌우의 흔들림(roll), 방향각(azimuth)을 수신한다.

컨트롤 프로그램은 수신 프로그램으로부터 위도, 경도, GPS 모드, 방향각을 TCP/IP 프로토콜(protocol)을 이용하여 전송 받아서 직선과 콤팩트까지의 거리, 콤팩트의 주행방향, 직선의 기울기 등을 계산하고 조향수준과 조향방향을 결정하여 유압 실린더와 조향장치를 제어하도록 Visual Basic을 이용하여 개발하였다. 저장 프로그램도 콤팩트 주행경로와 위치를 분석하기 위하여 개발되었으며 Visual Basic을 이용하였다.

다. 무인자율주행실험

직선구간에서 콤팩트가 주행할 때 조향수준을 결정하기 위해서 필요한 콤팩트와 직선사이

의 거리는 출발점과 목표점이 정해지면 두 점 사이의 직선의 방정식을 이용하여 계산하였다. 출발점의 좌표가 (Xs, Ys), 목표점의 좌표가 (Xt, Yt)이면 두 점 사이의 직선의 방정식은 식 (1)과 같다.

$$aX+bY+C=0 \quad (1)$$

$$\text{여기서, } a = Yt-Ys,$$

$$b = Xt-Xs,$$

$$c = b*Yt-a*Xt$$

직선구간에서 콤바인이 주행할 때 직선으로부터 콤바인이 거리 d 만큼 떨어져 있는 경우에 조향을 하면서 주행하여 직선에 근접하게 접근을 해야한다. 콤바인의 현재위치는 DGPS의 신호로부터 계산을 통하여 구할 수 있다. 콤바인의 현재위치가 (Xi, Yi)이면 현재 위치로부터 직선까지의 거리 d는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$d = \frac{|aX_i+bY_i+c|}{\sqrt{a^2+b^2}} \quad (2)$$

직선구간을 주행하는 콤바인은 직선의 기울기와 직선까지의 떨어진 거리를 이용하여 조향수준을 결정하게 되고 조향수준에 따라서 조향하면서 직선과 근접하게 된다. 조향수준은 7 단계로 구분하였다. 오른쪽으로 3 단계 수준의 선회와 왼쪽으로 3 단계 수준의 선회, 그리고 그냥 직진 주행하는 것으로 되어있다.

무인 자율주행 시스템의 성능평가를 위해서 성균관대학교 운동장에서 직선구간, 계단형 직선구간, 선회구간, 곡선구간을 설정하고 각각 4회씩 반복하여 실험하였으며, 콤바인의 주행속도는 1.3 km/hr로 설정하였다. 실제 주행한 경로와 미리 설정된 경로와의 편차(deviation)의 측정방법은 관행적인 방법(이재훈, 1998)으로 콤바인의 예취부 부분에 주행경로를 표시할 수 있는 막대를 수직으로 부착하고 무인 자율주행을 한 후 지면에 생선된 경로와 미리 설정된 직선과의 편차를 1 m 간격으로 측정하였다. 콤바인의 무인 자율주행실험은 원점을 출발하여 50 m 직선주행, 원점을 출발하여 20 m 직선주행 후 1 m의 오프셋(offset)된 30 m 직선주행, 원점을 출발하여 20 m 직선주행 후에 90° 선회하여 25 m 직선주행, 반지름 23 m인 원주의 4분면 곡선주행 등의 4가지 방법으로 실험하였다.

미리 설정된 경로와 실제 주행에 의한 경로와의 편차로서 RMS 오차는 식 (3)과 같이 구하였다. 주행 경로의 오른쪽에서 측정한 편차를 양의값으로 왼쪽에서 측정한 편차를 음의값으로 각각 기록하였다.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(\epsilon^2)}{N}} \quad (3)$$

여기서, ϵ : 설정선과 실제 주행경로와의 편차,

N: 총 측정개수

3. 결과 및 고찰

미리 설정된 직선경로 위에서 직선의 기울기와 콤파인이 방향각을 일치하여 무인자율주행 시스템을 장착한 콤파인이 출발하였을 때, 무인 자율주행을 하고 생긴 경로와 미리 설정된 직선과의 편위와 계산한 RMS 오차는 4회 반복 실험시 RMS 오차의 평균이 7.52 cm로 나타났으며, 최대오차가 29.3 cm로 30 cm를 넘지 않았다. 소 구획의 포장에서 벼는 가로 방향으로 25~30 cm, 세로 방향으로 15~20 cm의 간격으로 심어져 있다. 따라서 GPS 신호에 의한 위치 결정을 할 때 자체 오차 10 cm를 고려하여도 직선구간에서 콤파인이 무인 자율주행하며 수확작업이 가능함을 알 수 있었다.

직선의 기울기와 콤파인의 방향각을 일치하여 콤파인이 20 m를 직선주행 한 후 1 m 오프셋된 30 m 직선구간을 주행하였을 때, 실제 무인 자율주행을 하고 생긴 경로와 미리 설정된 직선과의 편위와 계산한 RMS 오차는, 4회 반복 실험시 RMS 오차의 평균이 21.85 cm로 나타났으며, 최대오차는 77.5 cm로 매우 크게 나타났다. 최대 오차가 크게 나타난 이유는 오프셋된 직선경로로 너무 신속히 접근한 영향에 의하여 발생한 것을 알 수 있었다. 콤파인이 원점을 기준으로 약 20 m를 직선주행 후 1 m 오프셋된 직선을 찾아가면서 직선이 시작 부분에서 그 오차가 크게 나타났으나, 두번째 직선을 약 10 m 주행한 후에는 원점을 기준으로 출발한 직선과 오차가 거의 일치하는 수준으로 주행을 하였다.

직선의 기울기와 콤파인의 방향각을 일치하여 콤파인이 20 m 직선주행 한 후 90° 선회하여 25 m 직선주행을 하였을 때, 실제 무인 자율주행을 하고 생긴 경로와 미리 설정된 직선과의 편위와 계산한 RMS 오차는 4회 반복 실험시 RMS 오차의 평균이 7.55 cm로 나타났으며, 최대오차는 24.6 cm로 나타났다. 콤파인이 후진하며 직선구간을 찾는 과정에서 최초의 편위가 크게 발생하여 직선구간보다 초기 오차가 증가되었다. 콤파인의 선회반경을 가능한 최소로 설정하여 콤파인의 후진을 수행하였으나, 실제로는 더욱 많이 후진한 후 직진하거나, 두 번째 직진과 일치하지 않았을 때 직진하는 현상이 나타났다. 따라서 소 구획의 포장에서 콤파인이 무인 자율주행 할 때, 직선구간이 종료될 때 선회가 가능함을 알 수 있었다.

미리 설정된 반지름 23 m인 원주의 사분면의 곡선경로 위에서 콤파인이 곡선주행 하였을 때, 실제 무인 자율주행을 하고 생긴 경로와 미리 설정된 곡선과의 편위와 계산한 RMS 오차는 4회 반복 실험시 RMS 오차의 평균이 25.98 cm로 나타났으며, 최대오차는 65.5 cm로 크게 나타났다. 곡선주행의 경우 원주의 사분면을 몇 개의 직선으로 구분하는 것이 가장 적합한지 결정하기 위하여 예비실험을 수행하였으며, 본 실험에서는 원주의 사분면 8개의 직선으로 구분하여 주행하였다. 원주 사분면의 구간별 직선을 주행한 후에 다음의 직선으로 이동하는 시점에서 상대적으로 큰 오차가 발생하였다. 곡선주행 실험에서 나타난 결과의 경우, 벼가 일직선으로 심겨있지 않고 곡선을 따라 심겨져 있는 논인 경우에는 DGPS와 자이로 센서만을 장착하고, 콤파인의 자율주행이 어려움을 알 수 있었다. 그러므로 기계시각 등의 영상신호를 곡선주행에 적용하면 오차를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

<표 1>은 원점을 출발하여 50 m 직선주행, 원점을 출발하여 20 m 직선주행 후 1 m의 오프셋된 30 m 직선주행, 원점을 출발하여 20 m 직선주행 후에 90° 선회하여 25 m 직선주행, 반지름 23 m인 원주의 4분면 곡선주행 등의 4가지 방법으로 콤바인이 무인 자율주행 하였을 때 미리 설정된 경로와 실제 주행에 의한 경로와의 편차를 나타낸다.

Table 1 Deviation of each method

unit(cm)

| Method | Trial | GPS RMS | Measured RMS | Max Error |
|--------------------------------|-------|---------|--------------|-----------|
| Straight Paths | 1 | 6.46 | 4.13 | 12.1 |
| | 2 | 14.73 | 11.59 | 16.3 |
| | 3 | 8.30 | 5.41 | 12.6 |
| | 4 | 10.94 | 8.98 | 29.3 |
| Straight Paths with 1 m Offset | 1 | 22.40 | 20.38 | 51.8 |
| | 2 | 13.63 | 12.68 | 38.2 |
| | 3 | 29.19 | 26.19 | 62.3 |
| | 4 | 31.58 | 28.17 | 77.5 |
| 90° Turning Path | 1 | 13.65 | 8.37 | 16.8 |
| | 2 | 11.82 | 7.17 | 24.6 |
| | 3 | 12.18 | 7.03 | 21.8 |
| | 4 | 11.96 | 7.65 | 18.7 |
| Curved Path | 1 | 28.39 | 23.64 | 42.9 |
| | 2 | 36.83 | 33.34 | 65.5 |
| | 3 | 27.19 | 20.51 | 56.0 |
| | 4 | 29.06 | 23.44 | 55.8 |

4. 결론 및 요약

본 연구의 목적은 DGPS와 자이로 센서를 장착하여 무인으로 콤바인을 직선주행, 선회 및 곡선주행, 직진주행 중 1 m 오프셋(offset) 주행시켰을 때, 무인 자율주행의 성능을 분석하고 개선하는데 있다. 콤바인의 무인자율주행 시스템은 콤바인의 현재위치를 인식하고, 주행하고 있는 콤바인의 주행방향을 감지하여 미리 설정된 경로를 따라 자율적으로 주행하며, 주행 중에 장애물이 검출되면 정지할 수 있도록 개발하였다.

콤바인의 무인 자율주행시스템은 DGPS의 입력 신호로부터 콤바인의 현재위치를 결정하고, 자이로 센서의 입력신호로부터 주행방향을 알 수 있다. 또한 장애물의 감지를 위한 초음파 센서, 콤바인의 주행방향을 조정하는 유압 작동부, 좌·우의 조향레버를 조정하는 서보모터 시스템, 마이크로 컴퓨터로 구성된 제어기와 입출력 인터페이스로 구성되어 있다. 콤바인

자율주행시스템의 프로그램은 DGPS 신호, 자이로 센서 등을 수신하는 수신 프로그램, DGPS 신호등으로부터 관련 변수들을 분석하여 콤바인의 조향수준을 결정하고, 유압실린더 등을 제어하는 제어 프로그램과 콤바인의 이동경로를 저장하는 저장 프로그램으로 구성되어 있다.

콤바인의 무인주행 실험결과 RMS 오차는 50 m 직선주행에서 7.52 cm, 20 m 직선주행 후 1 m 오프셋 된 30 m의 직선주행에서 21.85 cm, 20 m 직선주행 후 90° 선회하여 25 m 직선주행에서 7.55 cm, 반지름 23 m의 원주 사분면 곡선주행에서는 25.98 cm로 각각 나타났다. 소 구획의 포장에서 벼는 가로 방향으로 25~30 cm, 세로 방향으로 15~20 cm의 간격으로 심어져 있다. DGPS 신호에 의한 위치 결정을 할 때 자체 오차 10 cm를 고려하여도 콤바인이 직선구간 및 선회구간을 주행하며 수확작업이 가능함을 알 수 있었다. 그러나 곡선구간에서는 최대오차가 65.5 cm로 매우 크게 나타나, 콤바인을 무인 자율주행으로 수확하기에는 어려움이 있는 것으로 나타났다.

실제 포장은 이론적인 완전한 직선보다는 작은 굴곡이 있는 곡선의 형태가 이루어져 있으므로 주행 오차를 감소하기 위해서는 기계시각을 이용하면 보다 정밀한 조향을 이룰 수 있을 것으로 예상된다. 포장에서 DGPS 신호, 자이로 센서 등을 이용한 콤바인의 무인주행 장치는 무인 수확작업을 위한 가능성을 보여주었고, 일부의 센서의 기능을 개선하면 만족한 성능을 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 김종민. 2001. DGPS와 자이로 센서를 이용한 자율주행 콤바인의 개발. 성균관대학교 석사학위 논문.
2. 박영식. 2000. DGPS와 기계시각을 이용한 자율주행 콤바인의 개발. 서울대학교 석사학위 논문.
3. 김상철, 박우풍, 정인규, 정선옥, 황성준. 1999. 자율주행을 위한 트랙터 제어장치 개발. 한국농업기계학회 1999년 동계 학술대회 논문집 4(1):704-712.
4. 이재훈, 조성인, 이정엽. 1998. DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레어의 자율주행. 한국농업기계학회 1998년 동계학술대회 논문집 3(1):498-504.
5. 정선옥, 박원규, 김상철, 박우풍, 장영창. 1998. DGPS와 Gyro Compass를 이용한 트랙터의 자세검출. 한국농업기계학회 1998년 동계학술대회 논문집 3(1):505-510.
6. 조성인, 이정엽, 박영식. 1999. DGPS와 GIS를 이용한 스피드스프레어의 자율주행. 한국농업기계학회 동계학술대회 논문집 4(1):698-703.
7. Drummond, S. T., C. W. Fraisse, and K. A. Sudduth. 1999. Combine harvest area determination by vector processing of GPS position Data. Transactions of the ASAE 42(5):1221-1227.