

기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행(II)⁺

- 실제 주행 -

Autonomous SpeedSprayer Using Machine Vision and Fuzzy Logic (II) - Real Operation -

기노훈*, 조성인*, 최창현**
정희원, 정희원, 정희원
N.H. Ki, S.I. Cho, C.H. Choi

ABSTRACT

Autonomous speedsprayer operation was conducted using the developed FLC(Fuzzy Logic Controller). Orchard image and signals of ultrasonic sensors were processed in real time. The speedsprayer was modified to be steered by two hydraulic cylinders. The FLC has two inputs, direction of running and distance from obstacles. The operation time of hydraulic cylinders were inferred as output of the FLC. Field test results showed that the speedsprayer could be autonomously operated by the FLC along with the image processing and the ultrasonic sensors. The ultrasonic sensors didn't contribute to the improvement of guidance performance, but the speedsprayer could avoid trees or obstacles in emergent situations with them.

주요용어(Key Words) : 스피드스프레이어(Speedsprayer), 자율주행(Autonomous Operation), 퍼지논리제어(Fuzzy Logic Control), 영상처리(Image Processing), 초음파 센서(Ultrasonic Sensor)

1. 서론

조와 기 (1996)는 스피드스프레이어의 자율주행 시뮬레이션에서 영상처리와 초음파센서를 결합한 퍼지제어를 이용하여 스피드스프레이어의 자율주행이 가능함을 보였다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 시뮬레이션에서 성능이 입증된 퍼지제어기를 사용하여 스피드스프레이어의 자율주행이 실제 과수원에서 가능함을 입증한다.

구체적인 목적으로는

① 주행 경로를 파악하기 위한 영상처리 알고리즘을 개발하고,

② 나무와의 거리 측정 및 장애물 파악을 위한 초음파 센서와 스피드스프레이어를 조향하기 위한 유압 실린더를 부착하여,

③ 자율주행 구현을 위한 FLC를 제작한다.

2. 실험 재료 및 방법

조와 기 (1996)의 스피드스프레이어의 자율주행 시뮬레이션에서 사용된 동일한 스피드스프레이어를 이용하였으며, 실제 과수원의 상황도 시뮬레이션의 상황과 같게 하였다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공
** 성균관대학교 생명자원과학대학 생물기전공학과
+ 본 연구는 한국농업기계학회 산학협동연구로 수행된 과제임

가. 영상처리 시스템

실험에 사용된 영상처리 장치로는 PC Vision plus Frame Grabber(Image Tech. Co., 미국) 와 흑백카메라를 사용하였다. Frame Grabber는 흑백 영상처리 장치로서 512×512의 해상도를 가지며, 영상처리를 위한 함수들을 제공하여 MS-C와 컴파일 하여 사용하도록 되어있다.

영상처리의 순서는 그림 1과 같다. 먼저 획득된 영상을 128×128의 영상으로 압축하였다. 영상을 압축한 후에는 세로 방향의 성분을 강조하기 위하여 Prewitt mask를 사용하여 화질개선을 하였다. 세로방향의 성분을 강조한 후 Sobel mask를 사용하여 경계검출을 하였다.

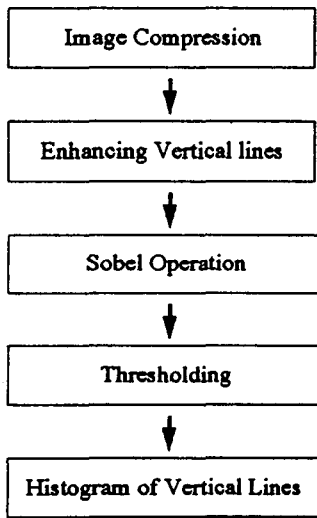


Fig. 1. Flowchart of image processing.

이치화는 Sobel 경계 검출 결과인 크기와 방향 값을 이용하였다. 문턱 값은 여러 차래의 영상처리를 거쳐 최적의 값을 선택하였다. 문턱 값을 경계로 하여 문턱 값보다 작은 화소 값은 0 (black)으로 문턱 값보다 큰 화소 값은 1 (white)로 치환하였다. 이 결과 0과 1의 두 개의 화소 값만으로 표현되는 화상을 얻을 수 있다. 이치화를 한 후 세로방향에 대하여 검출된 부분만의 누적dot수분포를 영상의 왼쪽 끝인 1에서 오른쪽

끝인 128까지 (픽셀 단위로 가로 방향) 작성하였고, 얻어진 누적dot수분포를 이용하여 주행 경로를 판단해 내었다. 여기서 누적dot수분포가 가장 작은 부분이 주행 경로가 되었다. 위의 모든 영상처리 과정에서 하나의 영상을 처리하는 데에 1.2초가 소요되었다(486 컴퓨터 사용).

나. 유압 시스템

스피드스프레이어는 두 개의 레버에 의하여 작동한다. 본 연구에서 사용된 유압 시스템은 그림 2와 같은 구조로 되어있다. 유압 시스템은 크게 두 개의 복동 유압 실린더, 두 개의 3-port-4-way (closed center type) 방향제어 밸브, 한 개의 릴리프 밸브와 유압 펌프로 구성되어 있다. 방향제어 밸브는 PC에서 나오는 신호를 이용하여 유압의 방향을 제어하기 위하여 솔레노이드 밸브를 사용하였다. 이 밸브의 작동에 의하여 실린더가 앞, 뒤로 움직이며 스피드스프레이어의 레버의 기능을 대신하도록 하였다.

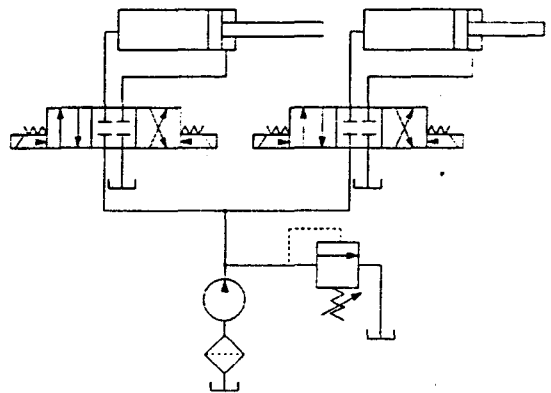


Fig. 2. Hydraulic system.

표 1은 선정된 유압 실린더의 제원이다. 유압 펌프는 스피드스프레이어에 부착된 것을 사용하였다.

유압 실린더의 구동을 위한 신호는 PC에서 나오며 이를 위하여 입력력 장치로서 8255와 릴레이를 사용하였다.

Table 1. Specification of the hydraulic cylinder

Diameter	40 mm
Rod diameter	15 mm
Displacement	35 mm
Rod velocity	35 mm/s
Applied force	107 kgf

다. 초음파 센서

초음파의 신호는 퍼지제어기의 입력으로 사용되며, 모두 4개가 사용되었다. 실험에서는 초음파 센서를 구동하고 거리 측정을 위한 카운터부를 위하여 PCB를 제작하였다. 사용된 센서의 제원을 표 2에 나타냈다.

Table 2. Specification of the ultrasonic sensor

Name	Polaroid Ultrasonic Ranging Unit
Range	15cm~1050cm
Type	Transmitter and receiver on one body
Frequency	50KHz
Resolution	1.8cm

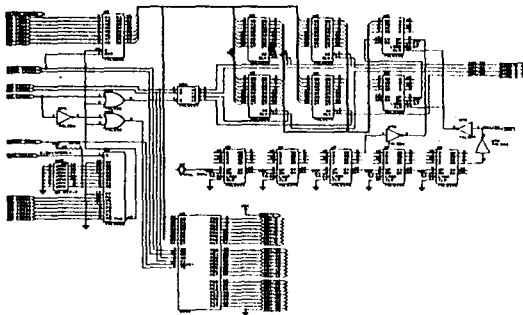


Fig. 3. PCB for the ultrasonic sensors.

사용된 초음파 센서는 송신부와 수신부가 일체형이다. 실제로 과수원에서 스피드스프레어를 운전하며 초음파 센서의 작동 범위를 측정할 결과는 4~5m 이었다.

회로를 단순화하기 위하여 제작된 PCB에 초음파 센서를 위한 카운터부와 유압 실린더의 릴레이를 위한 8255를 함께 배열하였다. 초음파 신호를 획득하기 위해서 200H~203H의 I/O 번지를 사용하였으며, 네 개의 릴레이를 구동시키기 위하여 204H~207H번지를 사용하였다. 그림 3은 제작된 PCB의 회로도이다.

초음파 센서에 의한 거리의 측정은 다음과 같다. 송신부에서 초음파를 발생하고 물체에 반사된 초음파가 수신부로 들어오면, 이 신호를 증폭하여 카운터부로 넘겨준다. 카운터부에서는 송신부에서 초음파를 발사한 순간부터 정해진 진동수의 펄스 수를 세다가 송신부로 신호가 들어오면 그때까지의 펄스 수를 계산한다.

라. 퍼지제어기

사용된 퍼지제어기는 조와 기(1996)가 스피드스프레어의 자율주행 그래픽 시물레이션에서 사용한 퍼지변수와 퍼지규칙을 그대로 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 과수원의 형상 및 주행 성능 평가

스피드스프레어의 실험은 서울대학교 농업생명과학대학부속 과수원에서 밤나무를 대상으로 하였다. 이것은 조와 기(1996)가 사용한 장소와 같은 장소이다. 주행 성능을 평가하는 방법은 시물레이션에서 사용하는 방법과 동일한 방법을 사용하여 RMS값과 면적 비를 이용하였다.

나. 영상처리 결과

과수원은 시간에 따라 같은 지역의 영상이 다르게 보이며 계절에 따라서도 다르다. 예로서 여러 가지 과수원에서 획득한 영상 중에서 그림 4는 1995년 5월에 획득한 영상을 압축한 것이다. 그림 5는 압축한 영상(그림 4)을 세로방향의 성

분을 강조하기 위하여 Prewitt mask를 이용하여 화질개선을 한 것이고, 그림 6은 그림 5를 Sobel 연산을 이용하여 경계를 탐색한 것으로 세로방향의 경계선이 명확해 짐을 알 수 있다. 그림 7은 그림 6의 Sobel 연산 결과를 크기와 방향에 대하여 이치화를 한 것으로 원하는 세로방향의 성분만이 영상에 남게 된다. 그림 8은 주행 경로를 탐색하기 위하여 그림 7을 세로방향으로 누적등

수분포를 구한 것이다. 그림 8에 영상처리의 최종결과인 주행 경로를 표시하였다. 주행 경로는 세로방향 성분의 누적등수가 가장 작은 쪽이 된다.



Fig. 4. Image compression.



Fig. 5. Enhancing vertical lines.

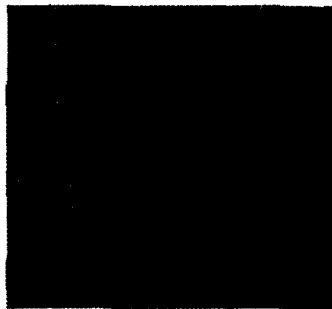


Fig. 6. Sobel operation.

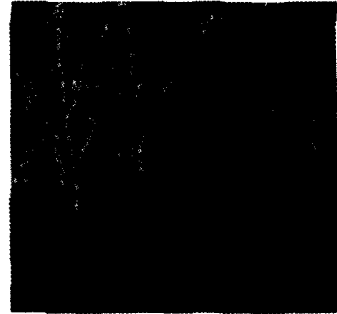


Fig. 7. Thresholding.

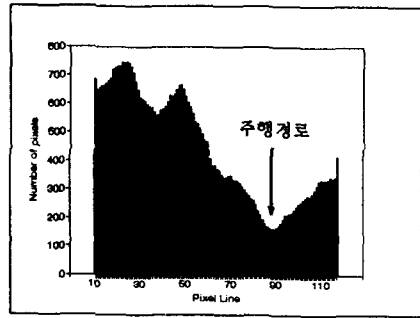


Fig. 8. Histogram of vertical lines.

카메라에서 얻어지는 영상에서 주행 경로 부분은 원근에 의하여 세로 방향의 성분이 적거나 거의 없기 때문에 누적등수를 구해보면 주행 경로를 파악할 수 있다. 영상획득의 시간대와 계절을 달리하여 주행경로를 찾은 결과 녹음의 많고 적음에 관계없이 영상 중에서 주행 경로를 찾아 내었다.

다. 영상처리를 사용한 자율주행

먼저 초음파 센서의 입력을 받아들이지 않고 영상 처리한 결과만을 퍼지제어기의 입력으로 하여 스피드스프레이를 주행시켰다. 이 경우는 퍼지제어기의 초음파 신호의 입력을 무한대로 설정함으로써 초음파 센서의 입력이 효과가

없도록 만들면 가능하다. 실제 과수원에서는 2 km/hr의 속도로 방제작업을 하는데, 실험에서의 주행 속도는 1.6km/hr(저속 1단) 였다. 저속 2단의 경우는 속도가 2.8km/hr 였는데, 너무 빠르고 과수와의 충돌의 위험이 있는 관계로 1.6km/hr의 속도로 실험을 하였다.

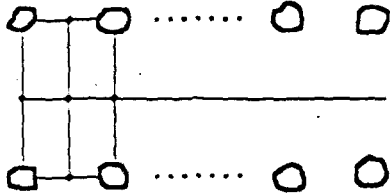


Fig. 9. Ideal path.

RMS값과 면적 비를 구하기 위해 퍼지제어기에 의해 만들어진 궤적과 이상적인 경로와의 거리 차를 1m 간격으로 측정하여 모두 36개의 데이터를 수집하였다. 제어기에 의하여 만들어진 궤적은 스피드스프레어의 뒷부분 가운데에 막대를 수직방향으로 고정시키고 주행을 한 후, 막대에 의해 생성된 궤적으로 하였다. 이상적인 경로는 그림 9와 같이 과수와 과수사이의 가운데 지점을 측정하여 이들을 모두 연결한 선을 이상적인 경로로 잡았으며, 직선에 가까웠다(Li와 Wilson (1994)). 그림 10에 과수원에서의 스피드스프레어의 자율주행 모습을 나타내었다.



Fig. 10. Autonomous operation of speedsprayer in an orchard.

본 연구에서는 스피드스프레어의 회전은 고려하지 않았다. 또한, 굽은 경로를 가진 과수원을 찾을 수가 없어서 직선 경로에 대해서만 실험을 하였다.

그림 11과 12는 실험을 통해 수집된 데이터를 나타낸 것이다. 전체 주행 시간은 80초 내외이고 그림에서 실선은 첫 번째 주행을, 점선은 두 번째 주행을 나타낸다.

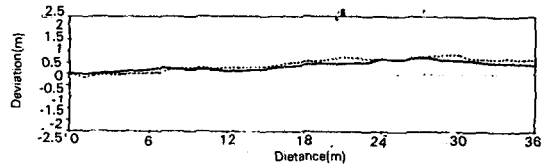


Fig. 11. Deviation using image processing only (cycling time : 4 sec).

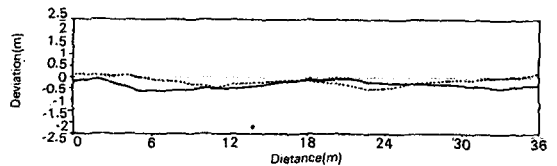


Fig. 12. Deviation using image processing only (cycling time : 1.5 sec).

Table 3. RMS values using image processing only

Cycling time	Number of trials	RMS values (cm)
4.0 sec	1	42.17
	2	52.62
1.5 sec	1	38.39
	2	25.29

Table 4. Ratio of area using image processing only

Cycling time	Number of trials	Ratio of area (%)
4.0 sec	1	9.67
	2	12.34
1.5 sec	1	9.43
	2	5.72

표 3은 영상처리만을 사용했을 경우의 위의 결과에 대한 RMS 값을 나타내고, 표 4는 오차에 대한 면적의 비를 나타낸다.

제어 간격에 따른 RMS 값을 비교하면 제어 간격이 짧을 수록 RMS 값이 작음을 알 수 있으며, 스피드스프레이어가 지나가는 면적의 비도 제어 간격이 짧은 것이 더 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 제어 간격을 1.5초로 할 경우 이상적인 경로에서부터 최대 64cm 벗어나는 것으로 측정되었으며, 과수원의 주행 방향 폭이 5m 인 것을 감안할 때 과수원의 주행 방향 폭의 25% 이내에서 스피드스프레이어가 주행할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 스피드스프레이어의 폭이 124 cm 인데 이에 대한 오차의 비율도 50% 이내임을 알 수 있다.

이상의 결과를 보면, 제어 간격이 짧을 수록 좋은 결과를 얻을 수 있으며, 초음파 센서의 입력이 없이 퍼지제어기가 영상처리 결과만을 가지고 스피드스프레이어를 주행하는데 별 문제가 없음을 알 수 있다.

라. 영상처리와 초음파 센서를 사용한 자율주행

퍼지제어기의 입력으로서 영상처리 결과와 초

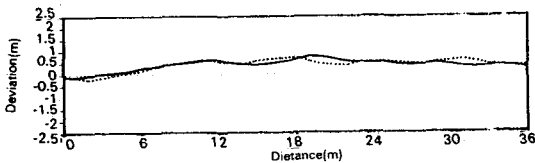


Fig. 13. Deviation using image processing and ultrasonic sensor(cycling time : 4 sec).

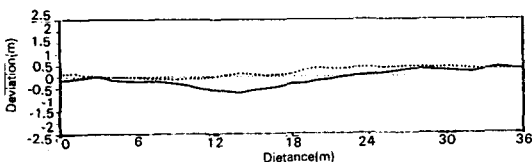


Fig. 14. Deviation using image processing and ultrasonic sensors(cycling time : 1.5 sec).

음파 센서를 함께 사용하여 실험하였다. 그림 13과 14는 각각 제어 간격이 4초와 1.5초에 대하여 영상처리 결과와 초음파 센서를 함께 사용한 경우의 스피드스프레이어의 주행을 나타낸 것이다.

위의 결과에 대한 RMS 값과 오차에 대한 면적 비는 다음의 표 5, 6과 같다.

Table 5. RMS values using image processing and ultrasonic sensors

Cycling time	Number of trials	RMS values (cm)
4.0 sec	1	42.82
	2	44.76
1.5 sec	1	33.26
	2	25.45

Table 6. Ratio of area using image processing and ultrasonic sensors

Cycling time	Number of trials	Ratio of area (%)
4.0 sec	1	10.52
	2	11.30
1.5 sec	1	7.97
	2	5.68

제어 간격을 1.5초로 했을 때의 이상적인 경로와의 최대 차이는 72cm 였는데, 이는 영상처리 결과만을 사용한 경우보다 좋지 않은 결과이다. 이것은 초음파 센서가 과수의 늘어진 가지나 잎에 의해 영향을 받아 장애물이나 과수로서 잘못 인식하기 때문인 것으로 판단된다. RMS값과 면적비가 영상처리 결과만을 이용할 경우와 비슷한 값을 가지는 것으로 볼 때 초음파 센서는 스피드스프레이어의 자율주행의 성능을 향상시키는 데는 영향을 주지 못하는 것으로 판단되었다. 위의 예에서 스피드스프레이어는 영상처리 결과만으로도 조향이 가능하였는데, 초음파 센서를 부착한 경우에는 과수와 부딪히는 상황에서 과수를 피할 수 있었다.

이와는 달리 초음파 센서만을 퍼지제어기의 입력으로 이용할 경우 스피드스프레어를 제대로 조향할 수 없었다. 이 결과는 스피드스프레어가 영상처리 결과로 제대로 주행할 경우, 앞에 있는 두 대의 초음파 센서는 과수와의 거리를 4~6m로 측정을 하게 되어, 퍼지제어기에 별다른 영향을 주지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

실제 과수원에서의 주행은 시뮬레이션 결과와 비슷한 양상을 나타냄을 알 수 있었다. 제어 간격이 짧으면 주행 성능이 좋아졌다. 초음파 센서를 영상처리 결과와 함께 사용할 경우, 제어 간격이 4초일 때에는 실제 주행이 시뮬레이션 결과와 다른 양상을 보였으나, 1.5초일 때에는 시뮬레이션 결과와 비슷한 경향을 보였다.

날씨가 실험시간, 과수에 잎의 많고 적음은 영상처리 결과에 잡음을 유도했다. 실제로 영상처리를 하면, 주행경로를 파악하는데 여러 가지 잡음으로 인하여 인간이 판단할 수 있는 정확한 값은 찾아낼 수가 없었다. 그러나, 실험에서 퍼지제어기를 이용하여 영상처리 결과를 입력으로 받아들인 경우 이러한 제약에 덜 민감한 반응을 보였다.

본 연구에서는 스피드스프레어의 회전을 고려하지 않았다. 스피드스프레어가 회전을 하게 될 경우에는 4개의 초음파 센서가 회전에 필요하게 될 것이며, 방향을 감지할 수 있는 센서가 추가로 필요할 것으로 판단된다. 이는 향후의 연구과제로 본 연구에서는 다루지 않았다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 스피드스프레어의 무인주행

을 위하여 퍼지제어기를 사용하였다. 퍼지제어기는 영상처리결과인 주행방향과 4개의 초음파 센서 신호를 입력으로 받고, 유압 실린더의 작동 시간을 추론 결과로 가진다. 이를 위하여 영상처리 장치와 유압 시스템을 구성하였으며, 초음파 센서 모듈을 제작하였다.

초음파 센서는 스피드스프레어의 자율주행 성능을 향상시키는 데는 큰 도움을 주지는 못했지만, 초음파 센서를 사용함으로써 과수에 부딪히는 위급한 상황에서 스피드스프레어가 과수를 피할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이것을 고려한다면, 과수원의 주행 경로가 약간 굽어있거나 회전을 고려할 때에 초음파 센서의 입력이 영상처리만을 이용한 경우를 보완할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 조성인, 기노훈. 1996. 기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레어의 자율주행(I)-그 래픽 시뮬레이션-. 한국농업기계학회지. vol. 21(2) : pp 165~172
2. Li, Y. and J. N. Wilson. 1994 a. Development of An Intelligent Steering Control Algorithm for Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance. ASAE Paper No. 943513, Winter Meeting.
3. Li, Y. and J. N. Wilson. 1994 b. Simulation Study of A Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance System. ASAE Paper No. 943608, Winter Meeting.