

# 기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행 (II)

- 실제주행 -

## Autonomous SpeedSprayer Using Machine Vision and Fuzzy Logic (II)

기노훈\*, 조성인\*

정희원, 정희원

N.H. Ki, S.I. Cho

### 1. 서론

앞의 '기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행 (I)'에서 영상처리와 초음파 센서를 결합한 퍼지제어를 이용하여 스피드스프레이어의 자율주행이 가능함을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 과수원에서의 자율주행에서 실제로 영상처리장치와 초음파센서를 이용하였다. 본 연구의 목적은 스피드스프레이어의 무인주행으로서, 구체적인 목적은 다음과 같다.

1) 영상처리(image processing)와 초음파 센서를 이용하여 과수원에서 스피드스프레이어의 현재 위치와 상태를 파악하는 알고리즘을 개발한다.

2) 위의 결과를 바탕으로 과수원에서 스피드스프레이어의 실제자율주행이 가능함을 입증한다.

### 2. 실험 재료 및 방법

시뮬레이션에서 사용된 스피드스프레이어를 이용하였으며, 실제 과수원의 상황과 시뮬레이션의 상황은 같게 하였다.

#### 2.1 영상처리 시스템

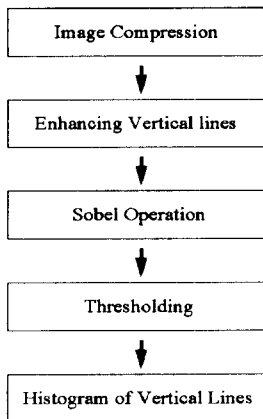


Fig. 1. Flowchart of image processing.

실험에 사용된 영상처리 장치로는 PC Vision plus Frame Grabber (Image Tech. Co., 미국) 와 흑백카메라를 사용하였다. Frame Grabber는 흑백 영상처리장치로서 512×512의 해상도를 가지며, 영상처리를 위한 함수들을 제공하여 MS-C와 같이 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. 이치화는 Sobel 경계 검출 결과인 크기와 방향값을 이용하였다. 문턱값을 경계로 하여 문턱값보다 작은 화소값은 0 (black)으로 문턱값보다 큰 화소값은 1 (white)로 치환하였다. 이 결과 0과 1의 두 개의 화소값만으로 표현되는 화상을 얻을 수 있다. 이치화를 한 후 세

로방향에 대하여 검출된 부분만의 누적dot수분포를 영상의 왼쪽 끝인 1에서 오른쪽 끝인 128까지 (픽셀 단위로 가로 방향) 작성하였고, 작성된 누적dot수분포를 이용하여 주행경로를 판단해 내었다. 여기서 누적dot수분포가 가장 적은 부분이 주행경로가 되었다. 위의 모든 영상처리 과정에서 하나의 영상을 처리하는 데에 1.3초가 소요되었다.

\* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

## 2.2 유압 시스템

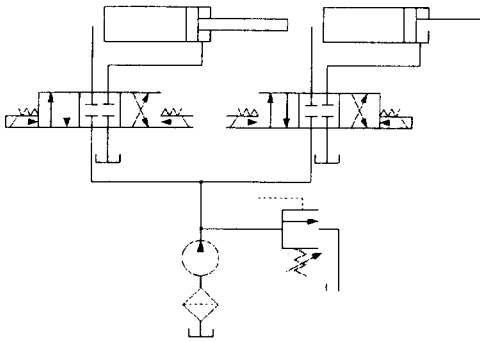


Fig. 2. Hydraulic system.

스피드스프레이어의 레버의 기능을 대신하도록 하였다.

표 1은 선정된 유압실린더의 제원이다. 유압펌프는 스피드스프레이어에 부착된 것을 사용하였다.

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

Table 1. Specification of hydraulic cylinder.

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

## 2.3 초음파 센서

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

Table 2. Specification of ultrasonic sensor.

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

## 2.4 퍼지제어기

사용된 퍼지제어기는 '기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행(I) (그래픽 시뮬레이션)' 에서 사용된 퍼지변수와 퍼지규칙을 그대로 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 과수원의 형상 및 주행 성능 평가

스피드스프레이어의 실험은 서울대학교 농업생명과학대학부속 과수원에서 밤나무를 대상으로 하였다. 주행 성능을 평가하는 방법은 시뮬레이션에서 사용하는 방법과 동일한 방법을 사용하여 RMS값과 면적비를 이용하였다.

### 3.2 영상처리를 사용한 자율주행 (실제 주행)

먼저 초음파 센서의 입력을 받아들이지 않고 영상처리한 결과만을 퍼지제어기의 입력으로 하여 스피드스프레이어를 주행시켰다. 실제 과수원에서는 2 km/hr의 속도로 방제작업을 하는데,

실험에서의 주행속도는 1.6 km/hr (저속 1단)였다. 저속 2단의 경우는 속도가 2.8 km/hr 였는데, 너무 빠르고 과수와의 충돌의 위험이 있는 관계로 1.6 km/hr 의 속도로 실험을 하였다.

RMS값과 면적비를 구하기 위해 퍼지제어기에 의해 만들어진 궤적과 이상적인 경로와의 거리 차를 1 m 간격으로 측정하여 모두 36개의 데이터를 수집하였다. 이상적인 경로는 그림 3과 같이 과수와 과수사이의 가운데 지점을 측정하여 이들을 모두 연결한 선을 이상적인 경로로 잡았으며, 직선에 가까웠다.

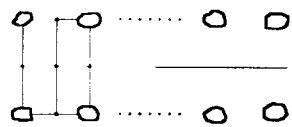


Fig. 3. Ideal path.

아래의 그림 4와 5는 실험을 통해 수집된 데이터를 나타낸 것이다.

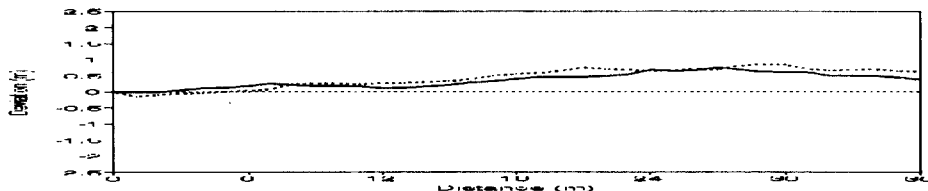


Fig. 4. Deviation using image processing only (cycling time : 4 sec).

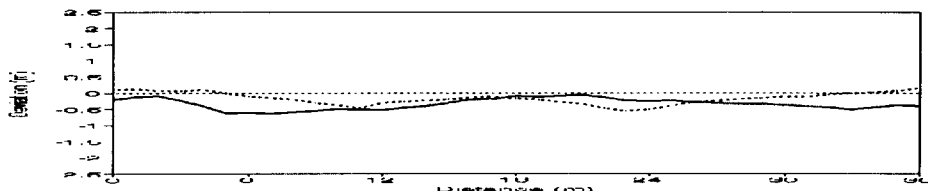


Fig. 5. Deviation using image processing only (cycling time : 1.5 sec).

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

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

제어 간격에 따른 RMS 값을 비교하면 제어 간격이 짧을 수록 RMS 값이 작음을 알 수 있으며, 스피드스프레이가 지나가는 면적의 비도 제어 간격이 짧은 것이 더 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 제어 간격을 1.5초로 할 경우 이상적인 경로에서부터 최대 64 cm 벗어나는 것으로 측정되었으며, 과수원의 주행방향의 폭이 5m 인 것을 감안할 때 과수원의 주행방향 폭의 25% 이내에서 스피드스프레이가 주행할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 스피드스프레이의 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.

### 3.3 영상처리와 초음파 센서를 사용한 자율주행 (실제주행)

퍼지제어기의 입력으로서 영상처리 결과와 초음파 센서를 함께 사용하여 실험하였다. 아래의 그림 6과 7은 각각 제어 간격이 4초와 1.5초에 대하여 영상처리 결과와 초음파 센서를 함께 사용한 경우의 스피드스프레이어의 주행을 나타낸 것이다.

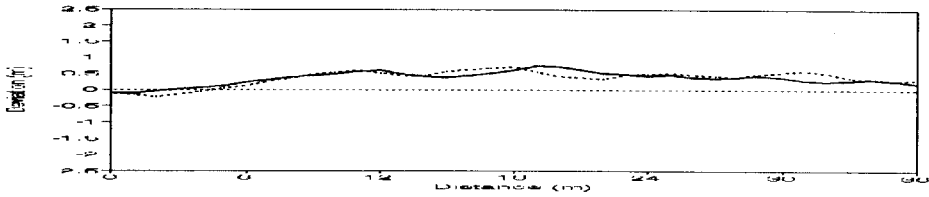


Fig. 6. Deviation using image processing and ultrasonic sensors (cycling time : 4 sec).

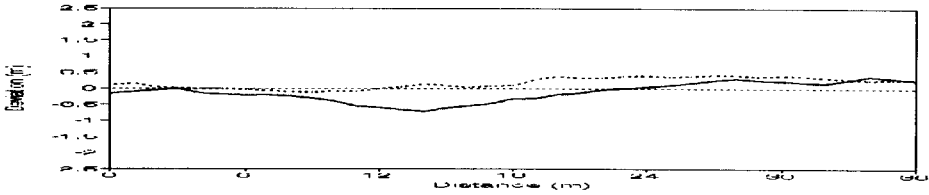


Fig. 7. Deviation using image processing and ultrasonic sensors (cycling time : 1.5 sec).

위의 결과에 대한 RMS 값과 오차에 대한 면적비는 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. RMS 값과 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 스피드스프레이어를 제대로

조향할 수 없었다. 이 결과는 스피드스프레이어가 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.

날씨나 실험시간, 과수에 앞의 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 받아들이는 경우 이러한 제약에 덜 민감한 반응을 보였다.

본 연구에서는 스피드스프레이어의 회전을 고려하지 않았다. 스피드스프레이어가 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 스피드스프레이어의 무인주행을 위하여 퍼지제어기를 사용하였다. 퍼지제어기는 영상처리결과인 주행방향과 4개의 초음파 센서 신호를 입력으로 받고, 유압 실린더의 작동시간을 추론 결과로 가진다. 이를 위하여 영상처리 장치와 유압 시스템을 구성하였으며, 초음파 센서 모듈을 제작하였다.

초음파 센서는 스피드스프레이어의 자율주행성능을 향상시키는 데는 큰 도움을 주지는 못했지만, 초음파 센서를 사용함으로써 과수에 부딪히는 위급한 상황에서 스피드스프레이어가 과수를 피할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이것을 고려한다면, 과수원의 주행경로가 약간 굽어있거나 회전을 고려할 때에 초음파 센서의 입력이 영상처리만을 이용한 경우를 보완할 수 있을 것이다.

#### 5. 참고문헌

1. 김창수, 최규홍, 김성태, 문영봉. 1992. 보행 이양기를 위한 무선자동제어 시스템의 개발(I). *한국농업기계학회지*. Vol. 17(1). pp 45-54.
2. 최창현, 1990. 위치 측정장치를 이용한 트랙터의 자동주행장치. *한국농업기계학회지*. Vol. 15(2). pp 79-87.
3. Blackmore, B. S. and Steinhauer, T. 1993. Intelligent Sensing and Self-Organizing Fuzzy Logic Techniques Used in Agricultural Automation. *ASAE, Paper No. 931048, Summer Meeting*.
4. Brown, R. B., Davidson, V. J., Hayward, G. L., and Whitnell, G. P. 1990. Fuzzy Process Control for Food Processes. *Food Processing Automation, Proceedings of the 1990 Conference ASAE Publication 02-90*, pp 333-337.
5. Fehr, B. W. and Garrish, J. B. 1995. Vision-Guided Row-Crop Follower. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 11(4). pp 613-620.
6. Kamada, H. and Yoshida, M. 1992. A Visual Control System Using Image Processing and Fuzzy Theory. Springer-Verlag New York. pp 111-128.
7. Klassen N. D., Wilson R. J., and Wilson J. N. 1994. Guidance Systems for Agricultural Vehicles. *Proceedings of XII World Congress on Agricultural Engineering, International Commission of Agricultural Engineering, CIGR*. pp 1136-1142.

8. Li, Y. and Wilson, J. N. 1994. Development of An Intelligent Steering Control Algorithm for Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance. *ASAE Paper No. 943513, Winter Meeting.*
9. Smith, B. S., Steinhauser, T. 1993. Intelligent Sensing and Self-organizing Fuzzy Logic Techniques used in Agricultural Automation. *ASAE Paper No. 931048. Summer Meeting.*
10. Toda, M., Kitani, O., Okamoto, T., and Tori, T. 1993. Studies on Autonomous Vehicles for Agricultural Robotics. *ASAE Paper No. 933091, Summer Meeting.*
11. Upchurch, B. L., Tennes, B. R., and Surbrook, T. C. 1983. A Microprocessor-Based Steering Controller. *Trans. of ASAE* Vol. 26 ( 1 ), pp 29-32.