

기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행(I)⁺

—그래픽 시뮬레이션—

Autonomous SpeedSprayer Using Machine Vision and Fuzzy Logic (I)

—Graphic Simulation—

조성인*	기노훈*
정희원	정희원
S.I. Cho	N.H. Ki

ABSTRACT

A Fuzzy Logic Controller(FLC) was developed for the autonomous operation of speedsprayer in an orchard. The autonomous operation with the FLC was graphically simulated under the real condition of the orchard. Image processing was used to find out the direction of running and four ultrasonic sensors were used to detect obstacles for the running. The simulation results showed that the speedsprayer could be operated autonomously with the FLC combined with the image processing and the ultrasonic sensors.

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

1. 서론

농업에서 수확량의 손실을 방지하기 위한 방법으로는 수확 전 처리와 수확 후 처리가 있으며, 수확 전 작업의 대표적인 것이 방제작업이다. 방제에 의하여 해충에 의한 피해를 없애면 30~35%의 손실을 방지할 수 있다고 한다(Hardi Rama, Magazine, 1991). 이는 방제의 중요성을 말해주는 것이며, 병해나 잡초 등의 다른 요인을 감안한다면 손실의 엄청난 양을 방지할 수가 있다.

방제작업자를 농약에서 보호하는 방법은 주로 보호장비의 착용에 의하여 이루어져왔다. 이 경

우 보호장비를 착용한다 하더라도 작업자에 대한 농약의 피해를 완전히 줄일 수는 없다. 또한, 농약은 피부에 접촉하게 되면 피부 안으로 즉시 침투하는 특성이 있으므로, 작업자의 농약으로부터의 보호는 매우 중요하다. 농약의 피해를 줄이기 위해서는 반드시 보호장비를 착용하여야 하며, 가장 좋은 방법은 사람이 작업을 하는 것이 아니라 스피드스프레이어가 무인으로 작업을 하는 것이다.

Blackmore 와 Steinhouser(1993)는 지능감지(intelligent sensing)와 자기구성(self organizing) 퍼지논리기술을 이용하여 기계시각의 처리결과

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

를 입력으로 제초기를 조향하였다. Li 와 Wilson (1994) 과 Klassen 등(1994)은 영상처리를 이용하여 트랙터의 작업을 조향하는 알고리즘을 개발하였다. 김 등(1992)과 최(1990)도 농용 차량의 자율주행을 시도하였다.

Kamada 와 Yoshida (1992)는 칼라영상처리와 퍼지논리를 이용하여 저속 자동차의 자율주행을 실험하였다. Toda 등(1993)도 농용 차량의 자율주행에 퍼지 논리를 사용하였다. 이들 연구에서는 농업환경이 애매한 정보를 다루고, 수학적 모델링이 필요 없이 간단한 규칙을 가지고 원하는 시스템을 제어할 수 있기 때문에 퍼지제어기가 사용되었다.

과수원에서 스피드스프레이어가 무인으로 작업을 하기 위해서는 주행 경로의 파악이 반드시 필요하며, 과수와의 충돌을 회피하는 장치가 구비되어야 한다. 또한, 이들 입력을 적절히 조합하여 스피드스프레이어가 무인 주행할 수 있도록 제어를 설계하여야 한다. 본 연구에서는 영상처리와 초음파 센서를 퍼지제어기와 결합하여 스피드스프레이어를 모델링 하고 자율주행이 가능함을 컴퓨터 상에서 그래픽 시뮬레이션으로 보이는 것을 목적으로 하였다. 단, 자율주행은 스피드스프레이어의 회전을 고려하지 않았다.

2. 실험 재료 및 방법

가. 자율주행 시스템의 구성

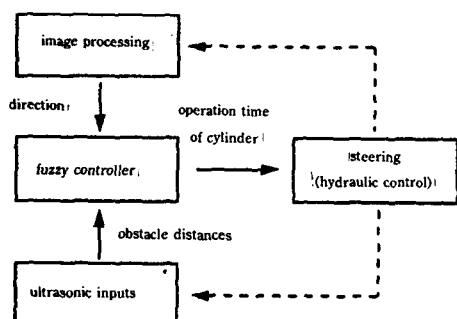


Fig. 1. Structure of autonomous guidance system.

자율주행 시스템의 전체 구성은 그림 1과 같다. 스피드스프레이어의 조향을 위한 소프트웨어는 퍼지제어기가 담당을 하게 되며, 영상처리 결과와 초음파가 퍼지제어기의 입력으로 사용된다. 영상처리 결과는 영상처리 후 결정되는 주행 방향이고, 초음파 입력은 초음파 센서와 장애물과의 거리이다.

본 연구에서는 작업모델로 SS-500WHU((주)한성농산)을 사용하였다. 기체는 3180 × 1255 × 1275mm(길이 × 폭 × 높이)의 크기에 두개의 레버로 좌우의 조향이 가능하며, 세 쌍의 바퀴로 주행한다.

나. 퍼지제어기

퍼지제어기의 입력변수로는 영상처리 결과인 주행방향과 초음파 신호 4개가 사용되었다. 출력변수는 유압실린더의 이동시간으로 유압 실린더는 왼쪽과 오른쪽 실린더가 각각 독립적으로 작동하도록 하여 서로 다른 언어변수를 갖도록 하였다.

Table 1. Linguistic variables of "Direction"

MD	LT	RT
MiDdle	LefT	RighT

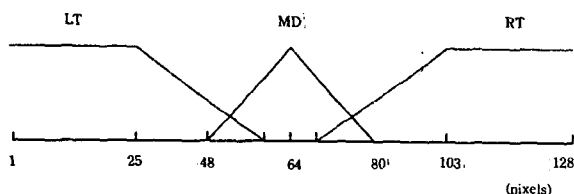


Fig. 2. Membership functions of "Direction".

Table 2. Linguistic variables of "Ultrasonic input"

SH	MD	FA
ShorT	MiDdle	FAr

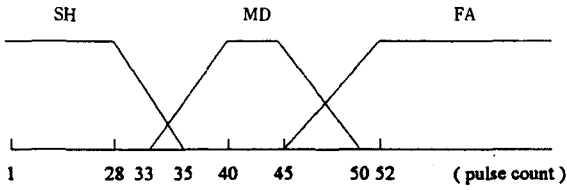


Fig. 3. Membership functions of "Untrasonic input".

Table 3. Linguistic variables of "Operation time of hydraulic cylinder"

LL	LM	LS	NP
Left Long	Left Medium	Left Short	No oPeration
RS	RM	RL	
Right Short	Right Medium	Right Long	

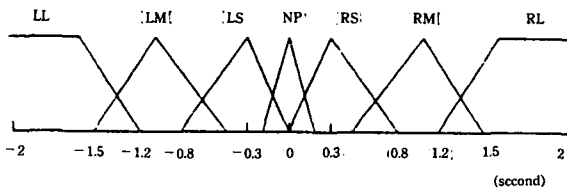


Fig. 4. Membership functions of "Operation time of hydraulic cylinder."

영상처리 결과와 초음파 신호, 유압 실린더의 작동시간에 대한 언어변수(표 1, 표 2, 표 3)와 그에 해당하는 귀속도함수(그림 2, 그림 3, 그림 4)를 나타내었다. 그림 2에서 가로축은 전체 영상의 폭을 128로 했을 때의 주행 경로의 위치를 의미하며, 그림 4에서 음수는 왼쪽 레버의 작동시간을 표시하는 것이고, 양수는 오른쪽 레버의 작동시간을 표시하는 것이다.

본 연구에서 사용된 총 규칙 수는 13개였다. 규칙을 예로 들면 다음과 같다.

위의 규칙에서 If 절의 조건들은 퍼지제어에 사용되는 언어변수를 의미하며, DC(Don't Care)는 입력 값에 상관이 없다는 것을 나타낸다. 위

If

[Direction = RT] and
 [US_Input_1 = MD] and
 [US_Input_2 = DC] and
 [US_Input_3 = DC] and
 [US_Input_4 = DC],

Then

[Cylinder_Time]=RS]

규칙의 경우, 영상처리 결과 주행 경로가 오른쪽에 위치하고, 첫 번째 초음파 센서의 멀지 않은 앞에 장애물이 있을 때, 오른쪽 유압실린더를 짧은 시간동안 잡아 당겼다가 놓으라는 것을 의미하며, 이 경우 스피드스프레이어는 오른쪽으로 조금 조향을 하게 된다. 퍼지제어기에 사용된 규칙과 귀속도 함수는 여러 차례의 시행착오를 거쳐 완성된 것을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 과수원의 형상

스피드스프레이어의 실험은 서울대학교 농업생명과학대학부속 과수원에서 하였다. 이곳은 경사가 거의 없는 곳으로 과수들의 재식 간격도 일정하고 여러 종류의 과수를 접할 수 있는 곳이다. 실험할 과수의 조건으로는 과수원의 경사가 거의 없어야 한다. 이 조건을 만족하는 과수는 부속 과수원에 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 밤나무를 선택하였다.

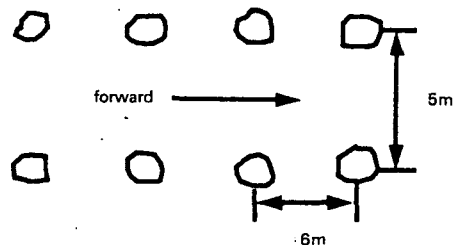


Fig. 5. Intervals of trees.

그림 5는 과수원의 상태를 나타낸 것으로서 스피드스프레어의 진행방향을 기준으로 가로 폭은 5m 이고 재식 간격은 6m 이며, 스피드스프레어가 이동하는 총 길이는 35m 이다. 과수 사이의 경로는 굽은 모양이 없이 과수가 일직선으로 심어져 있다.

스피드스프레어 자율주행의 시뮬레이션은 위의 과수원과 같은 조건에서 실행하였다. 즉, 같은 공간을 모델링하여 실험하였다.

나. 주행 성능 평가 방법

스피드스프레어의 주행 성능을 평가하기 위하여 그림 6과 같이 이상적인 경로와 퍼지제어기에 의하여 만들어진 경로를 비교하였다. 이상적인 경로와 실험에서 얻어진 경로와의 차이를 오차로 계산하는 것은 Kehtarnavaz 와 Giswold (1991)과 Li 와 Wilson (1994)에 의하여 시도되었다.

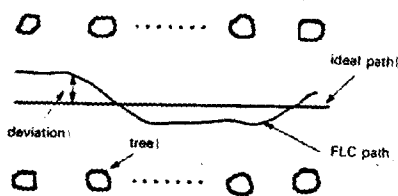


Fig. 6. Collecting deviation data.

여기서 얻어진 결과를 수치로 나타내기 위하여, 제어 간격에 따른 RMS 값을 계산하였는데 이는 다음의 식 (1) 을 이용하여 계산하였다.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (deviation)^2}{number\ of\ data}} \quad \dots\dots(1)$$

여기서, deviation : 이상적인 경로와 실제 주행과의 차이

number of data : 수집된 데이터의 수

주행 성능을 나타내는 다른 방법으로서 스피드스프레어가 퍼지제어기에 의하여 실제로 주

행하면서 이상적인 경로와의 사이에 만든 공간의 면적과, 스피드스프레어가 주행 가능한 공간의 면적의 비를 그림 7과 같이 고려하였다.

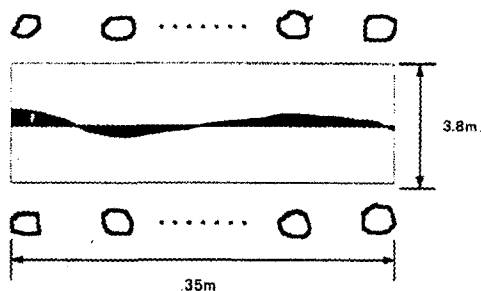


Fig. 7. Calculation of the ratio of areas.

주행 가능 면적은 실제 제어기에 의하여 만들어질 수 있는 제적이 위치할 수 있는 가능 공간으로서, 실제 면적은 133m² (3.8m×35m) 이다.

다. 스피드스프레어 및 과수원의 모델링

스피드스프레어는 그림 8에 따라 식(2), (3), (4) 와 같이 모델링하였다.

$$x(t+1) = x(t) - r \cdot \cos(\theta(t) + \phi(t)) \quad \dots\dots(2)$$

$$y(t+1) = y(t) + r \cdot \sin(\theta(t) + \phi(t)) \quad \dots\dots(3)$$

$$\theta(t+1) = \theta(t) + \phi(t) \quad \dots\dots(4)$$

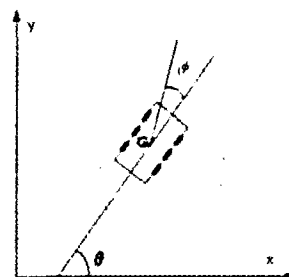


Fig. 8. Modeling of speedsprayer.

여기서, θ : 스피드스프레어의 중심선과 x 축이 이루는 각도(radian)

ϕ : 조향각도(radian)

r : 한번의 제어에 움직이는 거리(m)

- x : 스피드스프레이어의 x 좌표(m)
- y : 스피드스프레이어의 y 좌표(m)
- t : 시간(sec)

시뮬레이션을 하기 위하여 스피드스프레이어의 각각의 제어동안 경과된 시간을 계산하였고, r 은 이 경과된 시간에 속도를 곱하여 계산하였다. 과수원 지면의 상태는 경사가 없는 것으로 하였고, 스피드스프레이어의 바퀴와 지면사이에서는 미끄러짐이 없는 것으로 가정하였다.

과수원의 형상은 그림 5와 같이 실제 과수원과 같게 하였으며, 시뮬레이션 속도는 1.6km/h 로서 실제 스피드스프레이어의 주행속도와 같게 하였다. 또한, 실제 과수원의 실험에서와 같은 위치와 방향에 스피드스프레이어를 위치시키고 시뮬레이션을 수행하여 결과를 얻었다. 스피드스프레이어는 과수와 일직선이 되게 위치시켰다. 그림 9는 스피드스프레이어에 1대의 카메라와 4대의 초음파 센서를 부착한 모습이다. 영상처리 결과와 초음파 센서의 입력은 실제 상황에서 소요되는 시간을 고려하여 입력하였다.

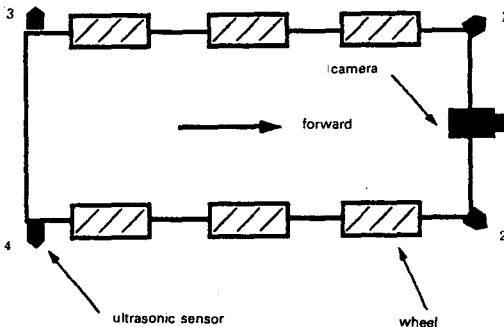


Fig. 9. Installation of camera and ultrasonic sensors.

그림 10과 11은 스피드스프레이어의 시뮬레이션 하는 모습을 나타낸 것이다. 가운데 부분이 스피드스프레이어가 주행한 궤적을 나타내며, 궤적의 양쪽으로 있는 것들은 과수이다.

그림 10은 실제 과수원과 같은 조건으로 모델링한 직선 경로에 대하여 스피드스프레이어의 자율주행을 시뮬레이션한 모습이고, 그림 11은 굽은 경로에 대한 시뮬레이션 모습이다. 실제로는 그림 11과 같이 굽어진 경로를 가진 과수원을

찾을 수가 없는 관계로 가상으로 경로를 만들어 시뮬레이션을 하여 스피드스프레이어가 굽은 경로에서 주행 가능함을 입증하고자 하였다.

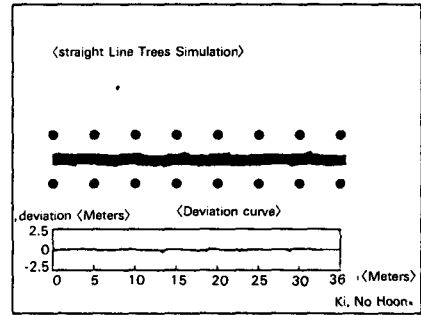


Fig. 10. Simulation of speedsprayer (along the straight line).

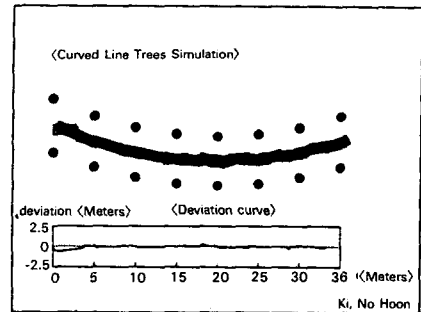


Fig. 11. Simulation of speedsprayer (along the curved line).

라. 영상처리를 이용한 자율주행

시뮬레이션의 입력으로서 영상처리만을 이용하였을 경우에 대하여 결과를 얻었다. 제어 간격은 4초와 1.5초의 두 가지로 하였다. 그림 12는 제어 간격이 4초인 경우를 나타내고 그림 13은 제어 간격이 1.5초인 경우를 나타낸 것이다. 제어 간격을 4초와 1.5초인 경우로 나눈 것은 실제 스피드스프레이어에서 실험을 할 경우와 같은 제어 간격으로 시뮬레이션하기 위해서이다. 전체 주행 시간은 80초 내외이고, 그림에서 실선은 첫 번째 주행을, 점선은 두 번째 주행을 의미한다.

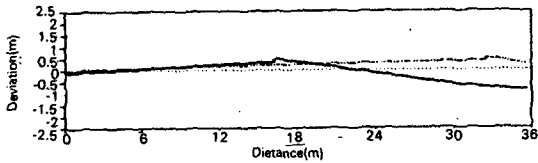


Fig. 12. Deviation using image processing only(simulation cycling time : 4 sec).

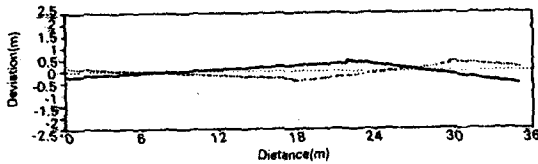


Fig. 13. Deviation using image processing only(simulation cycling time : 1.5 sec).

Table 4. RMS values using image processing only(graphic simulation)

Cycling time	Number of trials	RMS values (cm)
4.0 sec	1	38.07
	2	24.52
1.5 sec	1	22.93
	2	20.90

Table 5. Ratio of area using image processing only(graphic simulation)

Cycling time	Number of trials	Ratio of area (%)
4.0 sec	1	7.81
	2	5.78
1.5 sec	1	4.95
	2	4.61

표 4와 5에서 영상처리 결과만을 사용했을 때 시뮬레이션 상에서는 제어 간격을 짧게 할수록 RMS 값과 오차에 대한 면적의 비가 작음을 알 수 있다. 과수원의 주행방향의 폭이 5m 인 것을 감안할 때 제어 간격을 1.5초로 할 경우 이상적인

경로에서부터 최대 53cm 벗어나는 것으로 측정되었으며, 이는 과수원의 주행방향 폭의 21% 이내에서 스피드스프레이어가 주행 가능함을 보여주는 것이다. 또한, 스피드스프레이어의 폭(124 cm)에 대한 오차의 비율도 43% 이내임을 알 수 있다.

마. 영상처리의 초음파 센서를 사용한 자율주행

퍼지제어기의 입력으로서 영상처리 결과와 초음파 센서의 입력을 함께 사용하였을 경우를 시뮬레이션하였다. 그림 14는 제어 간격이 4초인 경우이고, 그림 15는 제어 간격이 1.5초인 경우를 나타낸 것이다.

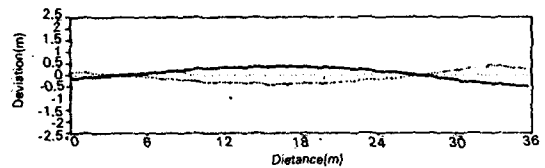


Fig. 14. Deviation using image processing and ultrasonic sensors(simulation cycling time : 4 sec).

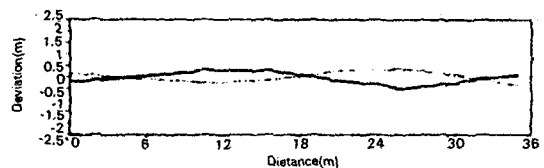


Fig. 15. Deviation using image processing and ultrasonic sensors(simulation cycling time : 1.5 sec).

표 6은 영상처리와 초음파 센서를 함께 사용하여 시뮬레이션하였을 때의 RMS 값을 나타낸 것이고, 주행 가능 면적에 대한 오차 면적의 비는 표 7과 같다.

결과를 보면 영상처리만을 사용한 시뮬레이션의 결과와 마찬가지로 제어 간격이 작을수록 RMS 값과 오차에 대한 면적의 비가 작아짐을 알

Table 6. RMS values using image processing and ultrasonic sensors(graphic simulation)

Cycling time	Number of trials	RMS values (cm)
4.0 sec	1	26.64
	2	25.61
1.4 sec	1	23.14
	2	19.48

Table 7. Ratio of area using imageprocessing and ultrasonic sensors(graphic simulation)

Cycling time	Number of trials	Ratio of area (%)
4.0 sec	1	6.21
	2	6.03
1.5 sec	1	5.19
	2	4.39

수 있다. 관찰된 오차의 최대 값은 제어 간격이 1.5 초일 때 48cm 로서 영상처리만을 이용한 경우와 거의 비슷한 값을 보였다.

시뮬레이션 결과, 과수원에서 영상처리와 초음파 센서를 이용하여 스피드스프레어 자율주행이 가능함을 알 수 있다. 영상처리 만을 이용한 경우 제어 간격이 4초일 때에는 영상처리와 초음파 센서를 함께 사용한 경우보다 주행 성능이 좋지 않음을 보였다. 그러나, 제어 간격이 1.5초일 때에는 초음파 센서를 함께 사용할 때와 별 다른 차이점을 보이지 않았다.

실제 과수원과는 달리 주행 경로를 굽은 모양으로 만들어 시뮬레이션을 하였는데, 이 경우에도 직선 주행과 비슷한 양상을 보였으며, 역시 자율주행이 가능함을 알 수 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 스피드스프레어의 무인주행을 위하여 퍼지제어기를 사용하여 스피드스프레

어를 시뮬레이션하였다. 퍼지제어기는 영상처리 결과인 주행방향과 4개의 초음파 센서 신호를 입력으로 받고, 유압 실린더의 작동시간을 추론 결과로 가진다. 이들을 고려하여 스피드스프레어의 주행 과정을 모델링하였다. 이를 위하여 인간이 사고하는 것과 비슷한 방식으로 주어진 입력을 가지고 빠르게 주행 방향을 판단하고, 초음파 센서 입력의 부정확성을 처리할 수 있으며, 스피드스프레어의 작업시 날씨나 시간 등에 따른 영상입력의 왜곡을 무리없이 처리해 줄 수 있는 등의 요인을 고려하여 퍼지제어기가 사용되었다.

시뮬레이션 결과 스피드스프레어는 영상처리와 초음파 신호를 가지고 과수원을 자율 주행할 수 있음을 알 수 있었고, 제어간격이 짧을 수록 제어성능이 좋음을 알 수 있었다. 스피드스프레어는 영상처리 결과만을 가지고도 자율주행이 가능함을 알 수 있었고, 초음파 센서는 스피드스프레어의 자율주행 성능을 향상시키는 데는 큰 도움을 주지는 못하지만 나무와 같은 장애물을 감지하여 충돌하지 않도록 안전거리를 유지하며 주행할 수 있도록 하였다.

참고문헌

1. 김창수, 최규홍, 김성태, 문영봉. 1992. 보행 이앙기를 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 T. Steinhauser. 1993. Intelligent Sensing and Self-Organizing Fuzzy Logic Techniques Used in Agricultural Automation. ASAE Paper No. 931048, Summer Meeting.
4. Kamada, H. and M. Yoshida. 1992. A Visual Control System Using Image Processing and mission of Agricultural Engineering, CIGR. pp 1136-1142.

7. Li, Y. and J. N. Wilson. 1994a. Development of An Intelligent Steering Control Algorithm for Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance. ASAE Paper No. 943513, Winter Meeting.
8. Li, Y. and J. N. Wilson. 1994b. Simulation Study of A Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance System. ASAE Paper No. 943608, Winter Meeting.
9. Toda, M., O. Kitani, T. Okamoto, and T. Tori. 1993. Studies on Autonomous Vehicles for Agricultural Robotics. ASAE Paper No. 9330 91, Summer Meeting.