

# 기계 시각과 퍼지제어를 이용한 트랙터의 자율주행

## Autonomous Tractor Guidance

### Using Machine Vision and Fuzzy Control

조성인\*

S. I. Cho

최낙진\*

N. J. Choi

강인성\*

I. S. Kang

## 1. 서론

해외 농산물의 개방에 대비해 국내 농산물의 국제 경쟁력 강화를 위한 방안 마련이 시급한 때에 농산물의 품질 향상 및 생산비 절감을 위하여 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있다. 그 중 농업기계분야의 연구는 현장에서의 애로점을 해결하려는 자동화 및 무인화, 첨단 기술을 이용한 고능률화 및 지능화에 관한 연구가 활발히 진행중이며 요소 기술로는 각종 센서와 신경회로망, 퍼지이론 등 인공지능 기술이 응용되고 있다.

우리 나라의 농촌 인구는 1988년 전체 인구중 17.4%를 차지하던 것이 1997년 9.7%를 차지하게 되었다. 이로 인한 노임의 증가는 농산물의 생산비에 큰 영향을 미치게 되었으며 더욱이 농가인구중 50세 이상이 차지하는 비율은 1988년 32.9%에서 1997년 47.4%로 급격히 증가하여 농업노동력의 수급문제를 더욱 심각하게 만들고 있다. 이의 해결을 위해 농업기계가 많이 보급되었으나 농업노동력의 고령화(高齡化)와 부인화(婦人化)등의 농업 노동력의 질적 저하 및 노동인구의 양적 감소는 농업기계의 효율적이고 적합한 사용에 큰 장애가 되고 있다. 또한 작업환경이 자연환경이라는 특성상 각종 진동 및 사고 위험으로 인해 농업기계의 운전시 육체적피로 및 사고 위험 등의 문제점을 안고 있어 이러한 문제들을 해소하기 위해 농작업의 무인화에 관한 연구가 필요하게 되었다.

트랙터는 농작업에 있어서 경운 동력기와 더불어 많이 사용될 뿐 아니라 다양한 용도로 사용되고 있는 농업기계이며 트랙터의 자율주행 기술의 개발은 농작업의 무인화를 위한 시작단계라 할 수 있다. 트랙터의 자율주행을 위해서는 트랙터가 진행해야할 경로를 탐색하는 기술과 차량의 조향 제어 기술이 요구된다. 본 연구에서는 기계시각장치만을 이용한 경로탐색기법에 관해 연구하였고 조향제어를 위해 작업현장의 지면 상태로 인해 야기되는 진동 등의 예측할 수 없는 오차를 보정하기 위해 퍼지 논리를 이용하여 제어기를 설계하였다.

본 연구의 목적은 기계시각을 이용한 포장에서의 트랙터의 자율주행으로서 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 영상처리를 이용한 트랙터 자율주행 알고리즘 개발
2. 퍼지논리제어(Fuzzy Logic Control)를 이용한 트랙터의 조향 제어기 개발
3. 포장에서의 주행시험을 통한 시스템의 성능 평가

\* 서울대학교 생물자원공학부

## 2. 재료 및 방법

### 가. 자율주행시스템

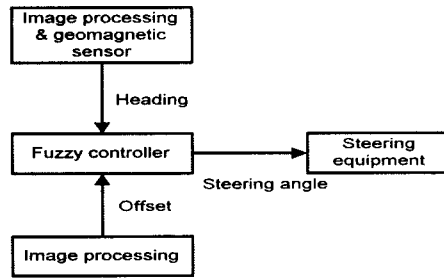


Fig. 1. Structure of autonomous guidance system

본 연구에서는 트랙터의 자율주행시스템을 컬러 CCD 카메라와 지자기 센서로 구성하였으며 전체 구성은 그림 1과 같다. 트랙터의 조향은 퍼지제어를 통해 이뤄지며 카메라로부터의 영상신호의 처리결과인 방향각과 지자기 센서로부터 얻어진 방향각 및 영상내에서 현재 주행 경로와 이상 경로와의 거리차이(오프셋)을 퍼지 제어기의 입력으로 사용하였다. 실험에 사용된 트랙터는 (주) 대동기계에서 제작된 L2601-4WD모델이었다.

### 나. 기계시각 시스템의 구성

영상처리 시스템은 기계에 시각적 정보를 인식·이해시키는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 경지 정리 된 포장의 영상을 획득하여 경운된 지점과 경운되지 않은 지점의 경계를 추출하고, 이를 이용하여 트랙터의 조향각을 산출하였다. 실험에 사용된 영상처리 장치는 CORECO社의 OCULUS-TCX/MX frame grabber와 PULNIX社의 Color CCD 카메라이며 frame grabber의 해상도는  $512 \times 512$  에서  $768 \times 575$  사이로서 처리속도를 감안하여 해상도를 조절할 수 있도록 프로그램을 작성하였다.

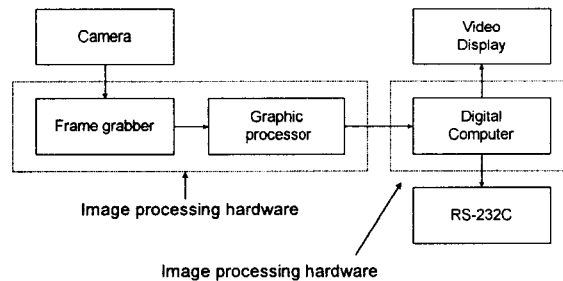


Fig. 2. Machine vision system

본 연구에서 사용된 기계시각 시스템은 그림 2와 같이 구성되었으며 기계시각에 의해 획득된 영상은 그림 3의 순서로 처리되었다.

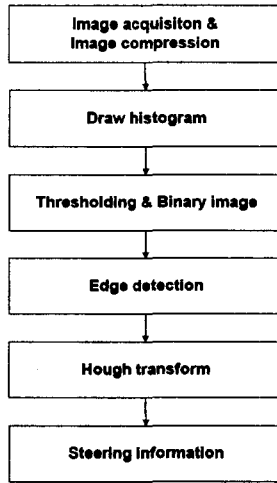


Fig. 3. Flowchart of image processing

#### 다. 퍼지제어기 구성

퍼지제어기의 영상처리후의 방향각과 지자기 센서로부터 얻어진 방향각의 평균을 취한 트랙터의 방향각의 평균을 취한 트랙터의 방향각과 경운 지역과 비경운 지역의 경계선으로부터의 오프셋이 입력변수로 선정되었다. 출력변수로는 트랙터의 주행에 필요한 조향각으로 설정되었다. 방향각과 오프셋의 언어 변수는 표 1, 2, 3과 같고 각각에 해당하는 귀속도 함수는 그림 4, 5, 6에 나타내었다.

Table 1. Linguistic variables of input "Heading".

LT	MD	RT
LefT	MiDdle	RighT

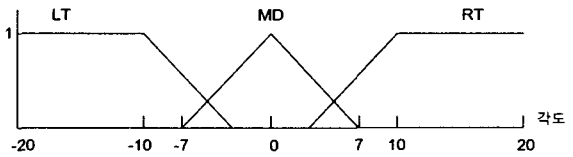


Fig. 4. Membership function of "heading"

Table 2. Linguistic variables of "Offset".

LO	MO	RO
Left Offset	Middle Offset	Right Offset

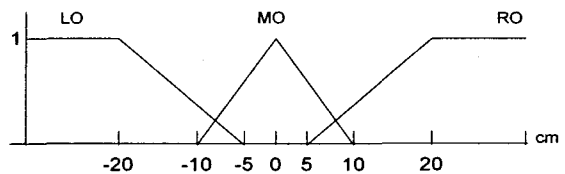


Fig. 5. Membership function of "Offset"

Table 3. Linguistic variables of output "Steering angle".

LL	LM	LS	NP
Left Large	Left Medium	Left Small	No operate
RS	RM	RL	
Right Small	Right Medium	Right Large	

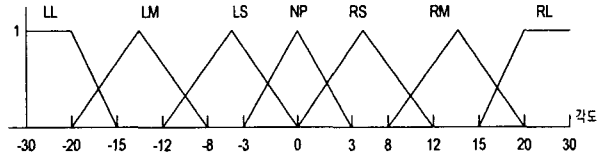


Fig. 6. Membership function of "steering angle"

### 바. 성능 평가 방법

트랙터의 자율주행 성능 평가방법은 이상적인 경로와 퍼지 제어에 의한 경로를 비교하여 그 차이를 RMS 값으로 계산하였다. 식(1)은 RMS값을 계산하는 방법이다.

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

deviation : 이상적인 경로와 실제 주행경로와의 차이

number of data : 수집된 데이터의 수

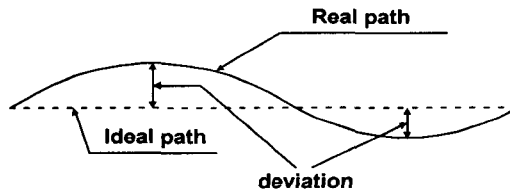


Fig. 7. Deviation from the straight line

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 영상처리 결과

#### (1) 영상 압축

본 연구에서는 영상처리 시간을 줄이기 위해 frame grabber에서 표준 해상도로 지원하는 640×480의 영상을 80×60의 영상으로 압축하였다. 영상압축 결과 120×120 영상은 전체 영상처리 알고리즘을 수행하는데 3.5~4.2초가 소요되는데 비해 80×60 영상 처리의 경우 0.7~1.0초의 시간이 소요되었으며 해상도를 줄인 후의 영상처리 결과는 거의 차이가 없었으므로 자율주행 포장 실험시에는 80×60 크기의 영상을 획득하였다.

## (2) 방향각 획득

획득된 영상을 이용하여 트랙터의 방향각을 획득하기 위해서는 영상을 이치화하고 경계를 추출한 후 hough transform을 이용하여 영상을 처리하는 과정을 거치게 된다. 영상을 이치화하기 위해서는 영상의 히스토그램을 이용하게 되는데 본 연구에서는 컬러 영상의 R, G, B 각각의 히스토그램을 획득하였다. 이 히스토그램을 이용하여 본 연구에서는 영상을 이치화하기 위해 탐색기법의 일종인 반복적 선택법을 사용하였으며 획득된 이치화된 영상은 그림 9과 같다. 이치화된 영상은 sobel mask를 이용하여 경계를 탐색하였다. 이는 각각의 화소간의 값의 변화율이 급격히 큰 지역은 목적물과 주변과의 경계임을 나타낸다. 그림 10은 그림 9의 영상을 sobel mask를 이용하여 경계를 탐색하여 획득된 영상이다. 영상의 경계를 탐색한 후에는 마지막으로 hough 변환을 이용하여 영상에서 보이는 경운 지역과 비 경운지역의 경계를 직선 방정식으로 변형시키게 되며 이 때의 직선의 방정식은 다음의 식 (2)와 같고 검출된 직선은 그림 11과 같다.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad \text{식(2)}$$

여기서  $\theta$ 는 직선에 대한 normal vector의 각도이고  $\rho$ 는 normal vector의 크기이다. hough 변환한 결과 그림 13에서 보이는 것처럼  $\theta = 45^\circ$ ,  $\rho = 0$  일 때가 조향을 위한 작업선의 정보가 된다.

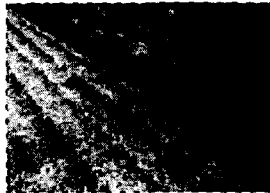


Fig. 8. 80×60 size image

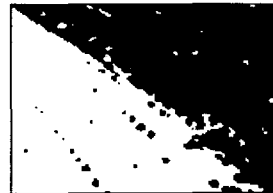


Fig. 9. Binarized image

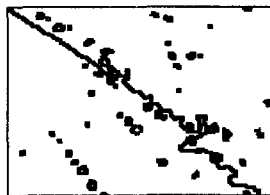


Fig. 10. Edge-detected image

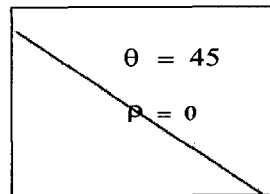


Fig. 11. Detected line after hough transform

### (3) 방향각 calibration

실세계에서의 Scene은 카메라에 잡히면서 원근법에 의하여 왜곡되어 나타난다. 그러므로 영상처리 후 정확한 방향각과 오프셋을 도출하기 위해서는 영상의 calibration이 필요하게 된다. 카메라에 잡히는 영상은 카메라의 설치각에 따라 다른 왜곡 현상을 보이므로 미리 카메라의 설치각을 설정해 놓아야 한다. 본 연구에서는 트랙터의 회전반경(4m)을 고려하여 설치각(tilt angle)을 68° 로, pan angle은 0° 로 결정하여 카메라를 설치하였다. 원근에 의한 영상 왜곡은 기준 점으로부터 얼마나 떨어져 있는가에 따라 그 거리와 각도의 차이를 보인다. 본 연구에서는 이런 차이를 보정하기 위해서 기준점으로부터 떨어져 있는 거리(오프셋)와 그에 해당하는 각도를 각각 비례적으로 변한다고 가정하였다.

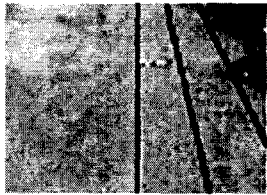


Fig. 12. Image 2  
for calibration



Fig. 13. Image 1  
for calibration

그림 14과 15는 방향각을 calibration하기 위해 서울대학교 농공학관의 실험동 뒤 야외에서 획득한 기준영상이다. 영상에서 보이는 선은 테이프를 40 cm 와 20 cm 간격으로 평행하게 땅에 붙인 것이다. 그림에서 보듯이 원근에 의해 영상이 왜곡되어 있다. 획득한 영상의 중앙 수직선에 대해 평행선들의 떨어진 거리(cm)는 영상의 중앙점을 기준으로 hough 변환한 결과로 얻어진 normal vector의 크기(픽셀수)와 비례관계에 있다고 가정하였다. 영상의 중앙선을 기준으로 80cm 떨어진 선의 normal vector의 크기의 픽셀수는 30개였다. 따라서 영상 내에서 중앙 기준선을 기준으로 픽셀 수 만큼 떨어진 지점을 cm 단위로 변환하는 식은 식 (3)과 같다.

$$\rho = \frac{8}{3} \times \rho_m \quad \text{식(3)}$$

$\rho$  : 변환후의 오프셋(cm)

$\rho_m$  : 영상에서 측정된 오프셋의 pixel 개수

또한 각 선들은 어느 선을 중심으로 하여 떨어진 거리만큼 기준선과의 각도차이가 변하게 된다. 본 연구에서는 앞서 밝힌 바와 같이 이 차이의 변화를 비례적으로 가정하였다. 기준선을 중앙선으로부터 80cm 떨어진 선을 기준으로 하였다. 따라서 기준선으로부터  $\rho_c$  만큼 떨어진 지점에서의 보정된 방향 각은 식 (4)로 정리할 수 있다.

$$\theta_c = \frac{13}{40} \times \rho_c + \theta_m \quad \text{식(4)}$$

$\theta_c$  : 보정후의 방향각,  $\rho_c$  : 영상에서의 기준선으로부터의 오프셋(cm)

$\theta_m$  : hough-transform 결과 얻어진 영상에서의 방향각

#### (4) 최종 방향각 결정

트랙터의 중앙으로부터 80cm 우측에 떨어진 선을 기준직선으로 정했기 때문에 처음 영상처리 결과 도출되는 방향각과 오프셋을 기준직선에 대한 방향각과 오프셋으로 다시 계산해야 한다. 그 식은 아래의 식 (16),(17)와 같다.

$$\theta_f = \theta_c - \theta_b \quad \text{식(5)}$$

$\theta_f$  : 최종적으로 결정되는 방향각,  $\theta_c$  : 보정후의 방향각

$\theta_b$  : 기준직선의 영상처리후 방향각

$$\rho_f = \rho_c - \rho_b \quad \text{식(6)}$$

$\rho_f$  : 최종적으로 결정되는 오프셋,  $\rho_c$  : 변환후의 오프셋

$\rho_{bb}$  : 기준직선의 실제 오프셋

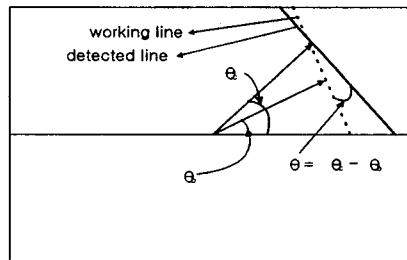


Fig. 14. Determination of steering angle

#### 나. 트랙터 자율주행 포장실험

포장실험은 농생대 부속농장에서 비 내린 지 4일 후 1차 실험을 하였고 지반이 건조한 때 2차 실험을 실시하였다. 포장실험에서는 퍼지제어를 쓴 것과 퍼지제어를 쓰지 않은 것 두 가지로 나누어 실험하였다. 실험에 사용된 트랙터의 출력이 약하고 로타리 작업을 수행하면서 실험을 하게 될 때 컴퓨터 등 시스템이 불안하게 되는등의 문제가 있었으므로 포장에 먼저 직선으로 로타리 작업을 한 후 실제 실험시에는 트랙터에 부착된 GPS신호를 받아 deviation을 측정하였다. 직선주행 경로의 길이는 40m 이었다. 1차 실험에서 퍼지제어를 사

용하지 않고 5회의 실험을, 2차 실험에서는 퍼지제어를 사용하여 10회, 퍼지제어를 쓰지 않고 5회씩을 실시하였다. 초기 위치는 25cm의 오프셋을 주었고 차량의 방향(heading)은 주행 경로와 평행이 되도록 하였다. 이러한 방식으로 수행한 1, 2차 실험결과는 표 4, 5, 6에 나타내었다.

Table 4. Experimental results 1 without the FLC

Trial	RMS(cm)
1	28.3
2	34.7
3	25.4
4	29.6
5	32.4

Table 5. Experimental result 2 without the FLC

Trial	RMS(cm)
1	25.5
2	23.9
3	25.3
4	22.4
5	28.5

Table 6. Experimental result 2 with the FLC

Trial	RMS(cm)
1	18.6
2	23.2
3	19.7
4	18.3
5	21.2
6	19.3
7	20.8
8	18.4
9	19.6
10	22.1

실험결과 평균 약 20 ~ 30 cm 내외의 오차를 보였으며 퍼지 제어를 사용한 경우 오차가 적은 것으로 나타났다. 또한 건조한 포장에서의 주행이 약간 젖어있는 포장보다 주행성능이 좋은 것으로 나타났다. 이는 슬립을 포함한 포장에서의 저항이 건조한 포장에서보다 크기 때문으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 트랙터의 자율주행을 위한 기계시각 시스템을 개발하였다. 조향 제어를 위한 퍼지제어기는 기계시각에서의 영상처리 결과인 조향각과 지자기센서의 방향각(heading)의 평균을 취하여 트랙터의 방향각으로 결정하여 하나의 입력으로 받고 영상처리 결과 도출되는 오프셋을 또 다른 입력으로 받았다. 이것은 퍼지추론 이후 조향각을 결과로 가진다. 영상처리를 위해서는 한 대의 color CCD 카메라와 color frame grabber를 사용하였다. 또한 처리시간을 단축하기 위해 영상 압축을 하였다. 압축된 영상으로부터 히스토그램을 구성한 후 이치화를 위한 문턱값을 반복적 선택법으로 결정하였다. 결정된 문턱값으로부터 이치화를 수행하고 sobel operator를 사용하여 경운영역과 비경운영역의 작업선 경계 검출을 하였다. 그리고 검출된 작업선 경계의 정보를 알아내기 위해 hough transform을 이용하여 방향각과 오프셋을 구하였다. 트랙터의 자율주행을 입증하기 위하여 포장에서의 실제 실험결과 영상처리를 이용하여 자율주행이 가능함을 알 수 있었다. 더욱 향상된 트랙터의 자율주행을 위해서는 조향에 필요한 제어간격을 1초 이내로 줄이고 외란에 강한 지자기센서를 사용할 필요가 있다. 트랙터의 회전을 포함한 완전한 자율주행은 향후의 과제로서 간단한



회전을 위해서는 엔코더와 지자기 센서를 이용하여도 가능할 것이지만 측정오차가 커 문제가 된다. 그래서 근래에 측정오차가 대단히 정밀해지고 가격도 많이 내린 DGPS와 기계시각을 결합하면 회전을 포함한 더욱 정밀한 자율주행을 수행할 수 있을 것이다.

## 5. 참고문헌

1. Smith, B. S., Steinhauser, T. 1993. Intelligent Sensing and Self-organizing Fuzzy Logic Techniques used in Agricultural Automation. *ASAE Paper No. 931048, Summer Meeting.*
2. 조성인, 이재훈. 1997. 유전알고리즘을 이용한 퍼지제어기의 최적화. *한국농업기계학회 동계학술대회*. Vol. 2 (1). pp 343-348.
3. 조성인, 기노훈. 1995. 퍼지논리와 유전알고리즘을 이용한 트랙터-트레일러의 후진제어 시뮬레이션. *한국농업기계학회지*. Vol. 20(1). pp 87-94.
4. 최창현, 1990. 위치 측정장치를 이용한 트랙터의 자동주행장치. *한국농업기계학회지*. Vol. 15 (2). pp 79-87.
5. Blackmore, B. S. and Steinhauser, T. 1993. Intelligent Sensing and Self-Organizing Fuzzy Logic Techniques Used in Agricultural Automation. *ASAE, Paper No. 931048, Summer Meeting.*
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. Kehtarnavaz, N. and Griswold, N. C. 1991. Visual Control of an Autonomous Vehicle(BART) - The Vehicle - Following Problem. *IEEE Trans. on Vehicular Tech.* Vol. 40(3). pp 654-661.
9. 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.
10. 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.*
11. Li, Y. and Wilson, J. N. 1994. Simulation Study of A Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance System. *ASAE Paper No. 943608., Winter Meeting.*
13. Noguchi, N., Ishii, K., and Terao, H. 1997. Development of an Agricultural Mobile Robot using a Geomagnetic Direction Sensor and Image Sensors. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 67. pp 1-15.