

무인 스피드스프레어의 개발 (II)

-화상처리를 이용한 주행방향 제어 알고리즘-

Development of Unmanned Speedsprayer (II)

-Guidance Control using Image Processing-

장익주* 김태한* 엄순형**

정희원 정희원 정희원

I. J. Jang T. H. kim S. H. Eam

1. 서론

본 연구는 힘든 농작업을 편안하게 할 수 있는 무인 농업 기계 연구의 기초연구로서 농업용 스피드 스프레이어의 자율 주행의 제어를 위한 알고리즘을 개발하는데 목적을 두고 수행하였다. 본 연구에서는 정렬되어 있는 양쪽 果樹列과 표지를 CCD 카메라로 화상정보를 입력받아 컴퓨터로 디지털 처리해 주행방향을 결정, 무인 주행을 가능하게 하는 제어 알고리즘을 개발하여 S.S기에 구현하였다. 직진 제어에서는 나무를 피하기 위해 양쪽 果樹列의 중심을 인식하고 그 중심을 따라 진행할 수 있도록 하였다. 선회 제어에서는 과수원의 다양한 조건에 대응하여 주행 방향과 선회 경로를 제어할 수 있도록 색지를 부착한 표지를 이용하여 선회하도록 하였다.

그리고, 카메라의 視角과 위치에 따라 화상과 화상분석방법이 달라지므로, 본 연구에서는 카메라의 視角을 上向과 下向으로 나누어 화상의 특징과 형상 인식방법을 달리하여 차이점을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 무인 스피드 스프레이어 시스템의 구성

그림 1과 같이 무인 스피드 스프레이어 제어를 위한 시스템의 구성은 XC-711 CCD카메라로 얻은 아날로그 화상정보를 ITEX MFG image board를 사용하여 디지털 정보로 변화시켜 80486-DX 컴퓨터로 화상을 분석하고 진행 방향을 결정하였다.

결정된 진행방향은 PCL-812 IO 카드로 전기 신호로 변환시킨 뒤 자체 제작한 제어 장치로 유압식 조향장치를 제어하여 무인

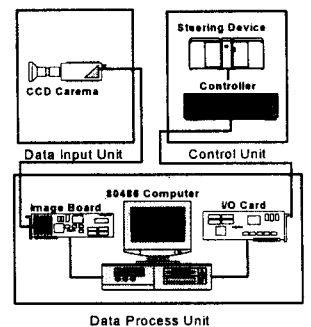


Fig 1. speed-sprayer system

본 연구는 94년도 농촌진흥청 특정과제로 수행되었음

* 경북대학교 농업기계공학과

** 경북대학교 대학원 농공학과 농업기계전공

주행을 실험하였다. 카메라의 視角은 그림 2에서와 같이 지면에서 0.75m 上向 45°와 그림 3에서와 같이 지면에서 3.5m 下向 45°로 설치하여, 서로다른 카메라의 위치에서 제어를 수행하였다.

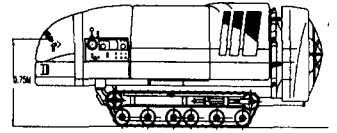


Fig 2. Speed-sprayer using upward camera

나. 정규 패턴에 대한 Bayes 분류기

가장 식별율이 좋은 표지를 결정하고, 수열과 표지의 인식을 위한 결정 함수를 구하기 위해 통계적 접근방법에 의한 패턴인식 방법중 하나인 정규패턴에 대한 Bayes 분류기를 사용하였다. 패턴인식의 유효성은 오류확률을 구하여 추정하였다.

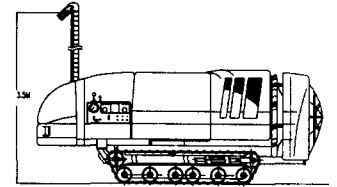


Fig 3. Speed-sprayer using downward camera

$$C_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=0}^N X_{ij} X'_{ij} - mm'$$

$$r_{ij} = (m_i - m_j)' C^{-1} (m_i - m_j)$$

$$m_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=0}^N X_{ij}$$

$$p(e) = \int_{\frac{1}{2}\sqrt{r_{ij}}}^{\infty} \sqrt{\frac{1}{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy$$

X: Pattern *N*: Class *m*: Mean vector *C*: Covariance *p*(*e*): Error probability

다. 제어 알고리즘

과수원용스피드 스프레이어의 주행은 그림 5와 같이 양쪽 과수열의 중심으로 진행되는 직진제어와 선회제어로 구성된다. 직진제어에서는 화상에서 양쪽과수열의 중심값을 기준으로 제어를 수행하고, 선회제어에서는 그림 5의 위치에 그림 4와 같은 크기의 표지를 설치하여 화면상의 표지 위치와 크기를 기준으로 제어를 수행하였다. 그리고, 선회제어에서 직진제어로 전환은 2번째 표지가 화상에서 사라지는 시점을 기준으로 하였다.

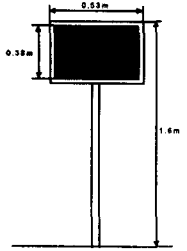


Fig 4. Mark

직진제어에서는 카메라의 視角에 따라 알고리즘이 다르게 구성되나 선회제어에는 視角에 관계없이 직진 제어에서 선회 제어로의 전환의 기준이 되는 표지의 화상내의 크기와 위치의 기준값만을 달리할 뿐 동일한 알고리즘으로 제어를 수행하였다.

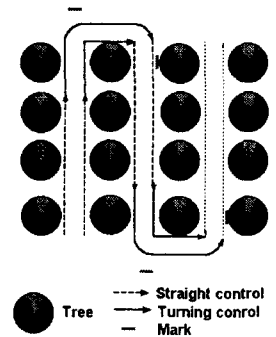


Fig 5. Track of speedsprayer

3. 결과 및 고찰

가. 정규 패턴에 대한 Bayes 분류기를 이용한 결정함수 선정

선회제어의 기준이 되는 표지의 색은 Bayes 분류기를 사용하여 오류확률이 작은 색으로 정하고 결정함수를 구했다. 오류확률을 구한 결과 형광주홍(Fluorescent red)이 2.86%로 가장 식별이 용이한 색상으로 나타났다. 정규 패턴에 대한 Bayes 분류기로 구한 직진제어와 선회제어에서의 결정함수와 오류확률은 표 1과 같다.

나. 上向視角카메라를 사용한 직진제어

1) 자동 문턱값 결정 알고리즘

上向視角카메라를 사용한 직진제어에서의 화상은 자연광의 상태에 따른 문턱값을 결정하기 위해서는 그림 6과 같이 작업영역 내의 화상정보의 G값의 히스토그램을 작성한 후 평균 G level을 구하고 이동평균을 이용해 평활화하여 히스토그램의 잡음을 감소시켰다. 다음 단계로 평균값을 중심으로 좌우의 최대값을 구하여, 두 값 사이의 최소값을 문턱값으로 정하므로써, 하나의 문턱값으로 과수열을 인식하는 것보다는 인식율을 높였다.

2) 上向視角카메라를 사용한 직진제어

선회에서 직진, 또는 직진에서 선회로의 전환은 표지를 기준으로 하고, 직진제어에서 진행방향 결정은 양쪽 과수열의 중심을 기준으로 한다.

양쪽과수열의 중심을 구하기 위해서는 입력받은 화상(그림 7)을 그림 8과 같이 결정함수로 과수열을 2차화합과 동시에 과수의 높이를 구하고, 이동평균을 사용하여 오목 잡음을 줄인 다음, 나무의 높이가 가장 낮은 지점의 중간값을 양쪽 果樹列의 중심(그림 8의 십자형 지점)으로 결정하였다.

다. 下向視角카메라를 사용한 직진제어 알고리즘

下向視角카메라 화상의 수직방향의 G값을 표준편차로 계산하여 양쪽과수열의 중심을 구한다. 이를 기준으로 실시간으로 제어를 수행하고, 하늘, 왼쪽 과수열, 오른쪽 과수열, 果樹列間의 4가지 영역과 양쪽수열의 중심을 일차 직선으로 인식하여 과수원의 형상에 대한 종합적인 판단이 가능하게 하였다.

1) 양쪽 과수열의 중심인식

과수열과 果樹列間과는 색상차가 크지 않았으므로, 과수열이 果樹列間보다 복잡한 형태를 가진다는 점을 이용하였다. 그림 9와 같이 복잡성측정을 위해 화상을 수직방향으로 표준편차를 측정하고, 평활화하여 그 값이 최소가 되는 지점을 양쪽과수열의 중심으로 인식하였다. 그리고, 양쪽과수열의 중심선상의 G값을 문턱값을 기준으로 하늘과 果樹列間영역으로 나눈다. 양쪽과수열의 중심선상의 각 영역은 인식대상을 결정하는 기준이 된다.

2) 과수열과 果樹列間의 경계선인식

Table 1. Decision function

Control	Decision function	Error probability
Straight	$0.071R+G+0.0953$ $B>168.68$	19.21%
Turning	$R-0.986G+0.012B$ >3.77	2.86%

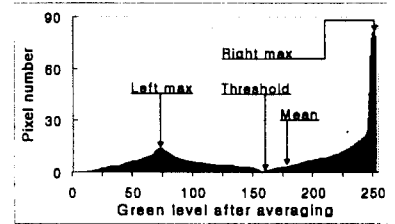


Fig 6. Pixel number after G level after averaging

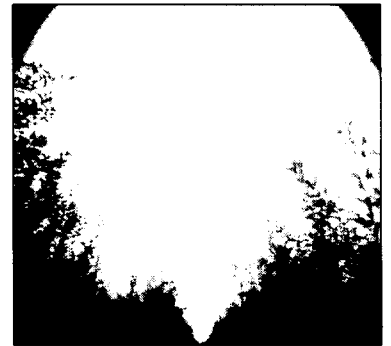


Fig 7. Tree rows image

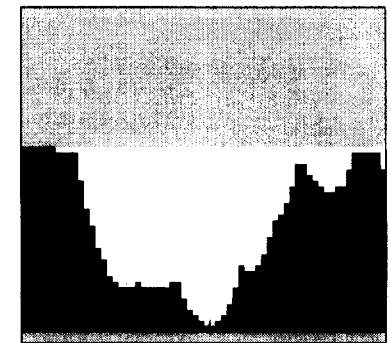


Fig 8. Concave removed image in the straight control

과수열과 果樹列間의 경계선 인식은 복잡성측정을 위해 양쪽 과수열의 중심선의 果樹列間영역을 좌우로 확장하여 G값의 표준편차가 최초로 문턱값을 넘어서는 점을 경계점으로 인식하고, 경계점을 회귀분석하여 경계선을 결정하였다. 그리고, 경계선과 경계점을 보정하여 다시 경계선을 구한다. 그림 10은 이 과정을 3회 반복하여 경계선을 최종 결정하고, 양쪽 경계선과 수평선이 만나는 두점의 중심을 이은 선을 양쪽 과수열의 중심선으로 최종 결정하였다.

3) 하늘과 과수열의 경계선 검출

경계선의 인식은 그림 11과 같이 양쪽과수열의 중심선의 하늘영역을 좌우로 확장하여, G값의 문턱값으로 경계점을 인식하였다. 그리고, 경계점을 회귀분석하여 경계선을 결정하고, 양쪽과수열의 중심선상의 각 영역의 경계점을 지나도록 경계선을 보정한다.

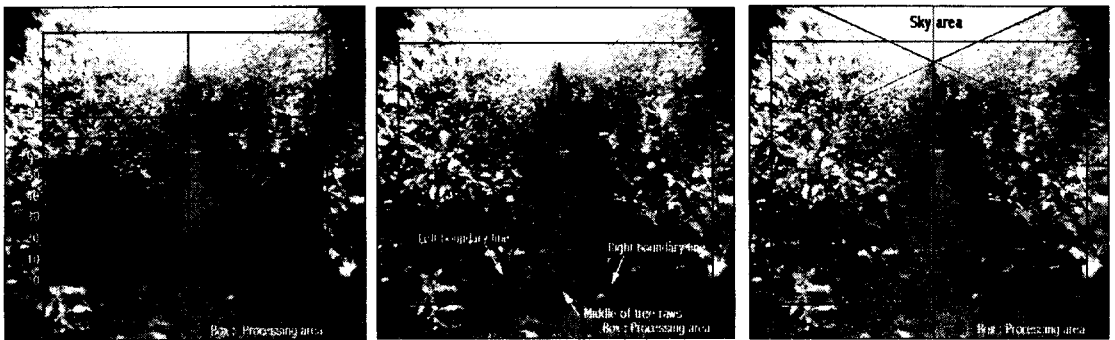


Fig 9. Determine the middle Fig 10. Boundary line and Fig 11. Boundary line of of tree rows after averaging middle of tree rows sky and tree rows

4) 下向視角카메라로 입력받은 화상의 인식결과

下向視角의 경우 그림 12와 같이 하늘, 왼쪽 과수열, 오른쪽 과수열, 果樹列間의 4가지 영역과 양쪽과수열의 중심을 일차 직선으로 인식함으로써, 과수원의 형상에 대한 종합적인 판단이 가능하다. 그리고, 이러한 인식결과는 표 2, 표 3과 같이 실시간으로 수치화 할 수 있다. 표 2와 3은 스크린 좌표계에서의 수치이다.

Table 2. Regression analysis

Boundary line	Regression line
Sky and tree rows	Left $y=201.1-0.462x$
	Right $y=-14.8+0.362x$
Tree rows and path	Left $y=902.3+3.115x$
	Right $y=846.6-3.556x$
The middle of tree rows	$y=874.5-0.221x$

Table 3. Area

Area	Pixel	%
Sky	16120	6.6%
Tree rows	Left 91332	37.1%
	Right 88974	36.2%
Path	49313	20.1%

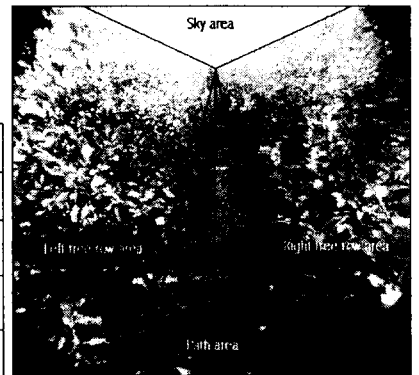


Fig 12. Area recognition

라. 선회 제어

선회제어는 선회 위치에 설치된 2개의 표지의 위치를 기준으로 진행방향을 결정하므로 정확한 표지의 인식이 중요하다.

입력받은 화상(그림 13)을 그림 14와 같이 화상을 2치화한 다음 x축, y축에 투사하였다. x축, y축상에 투사된 표지의 화소 수의 최대값의 곱으로 표지의 면적을 계산하고, 중심점(그림 14의 십자형 지점)으로 표지의 위치를 결정하였다.

마. 주행 평가

화상정보를 분석하여 제어신호를 발생시킨 후 다음 제어신호를 발생시킬 때까지의 한 사이클을 이루는 시간은 上向視角카메라에서 평균 0.243초, 下向視角카메라에서 평균 0.246초가 소요되었다.

주행실험은 주행속도 1.0Km/hr에서 목표로 하는 주행경로와 실제주행경로와의 거리차를 0.5m 간격으로, 직진제어의 경우 80개, 선회제어의 경우 54개씩 데이터를 수집하였다. 표 4는 실험결과의 RMS값이며, 그림 15와 16은 목표로 하는 주행 경로와 실제 주행 경로를 그린 것이다. 이 실험에서 직진제어와 선회제어 모두 목표로 하는 주행 경로와 실제 주행 경로와의 거리차는 40cm이내의 값을 유지했다.

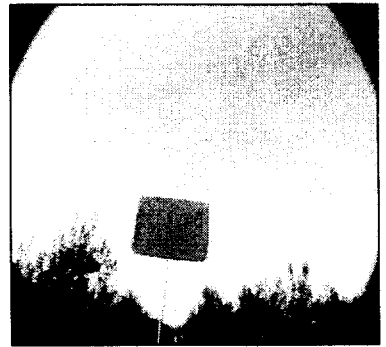


Fig 13. Image in the turning control

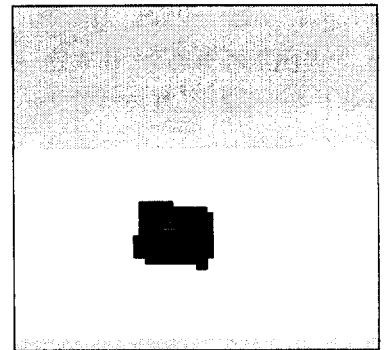


Fig 14. Binarized image in the turning control

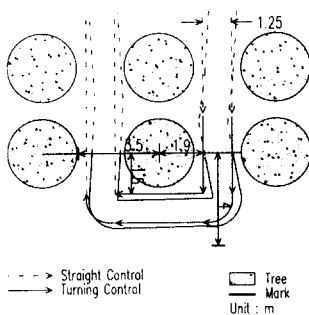


Fig 15. Speedsprayer track using downward camera

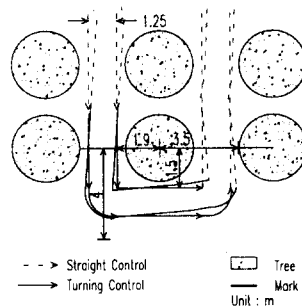


Fig 16. Speedsprayer track using upward camera

	Control	RMS
Upward camera	Straight	0.192m
	Left turning	0.202m
	Right turning	0.219m
Downward camera	Straight	0.211m
	Left turning	0.208m
	Right turning	0.217m

Table 4. RMS

4. 결론

제어 알고리즘은 양쪽 果樹列의 중심을 진행하도록 하는 직진 제어 알고리즘과 진행하는 果樹列과 다음 果樹列로 이동할 때 행하여지는 선회 제어 알고리즘을 별도로 개발하였으며,

선회 제어에 있어서 과수원의 다양한 조건에 따라서 불균일한 선회 위치를 지정하고 선회 방향을 결정하기 위하여 색지를 부착한 2개의 표지를 기준으로 선회하도록 하였다.

그리고, 카메라의 視角과 위치에 따라 화상과 화상의 분석방법이 달라진다. 본 연구에서는 카메라의 視角을 上向과 下向으로 나누어 화상의 특징과 형상인식방법을 달리하여 차이점을 분석하였다.

일련의 실험에서 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 제어는 다음과 같이 4 단계로 반복적으로 수행하였다.

Step 1. 선회 제어에서 직진 제어로 전환한다.

Step 2. 직진 제어를 행한다.

Step 3. 직진 제어에서 선회 제어로 전환한다.

Step 4. 선회 제어를 행한다.

2) 上向視角카메라를 사용한 과수원의 형상인식은 외계와 식별대상간의 색상차가 커서 색상차만으로 식별이 가능하였으나, 과수열간을 직접적으로 인식할 수 없다는 단점이 있다.

3) 下向視角카메라를 사용한 과수원의 형상인식은 태양광의 변화에 따른 화상의 변화가 적고, 果樹列間를 직접적으로 인식할 수 있다는 장점이 있었으나, 上向視角카메라를 사용할 때보다 대상간의 색상차가 줄어드는 단점이 있었다.

5. 참고문헌

1. 장익주, 김태한, 조명동, 무인 스피드 스프레이어의 개발 (I), 한국농업기계학회지. 1995 Vol. 20. NO. 3 P226-235
2. 장익주, 과수원 작업의 로봇화 방향, 果樹園 作業省力化 現況 및 發展方向. P59-80, 1994.7.21
3. 이성환, 패턴인식의 원리 I, P127-P195
4. Rafael C. Gozales and Richard E. Wood Digital Image Processing. P579-583
5. Li, Y. and J. N. wilson. 1994 a. Development of An Intelligent Steering Control Alogolthm for Vision-Based Agricultural Vechicle Guidance. ASAE Paper NO. 943513, Winter Meeting
6. Peterson, V. and J.C. Evan, Jr. 1986. Machine vision concepts and technology. ASAE/Society of Automotive Engineers. Paper No. 861453.
7. 章 益柱(Ik Joo Jang) 스피드プレーヤ(SS)의 自動化, Proceeding of the Japan-Korea Cooperative Seminar on Agricultural Engineering, September 30.1993
8. 松本 勉, 油田信一, “經路地園 に 従った 移動 ロボットの 自律走行 システム”, 日本 ロボット 學會紙 5券 5號. pp.19-27, Oct. 1987.
9. 行本 修, 松尾陽介: 自律走行 システム, ROVOMECH 93 講演論文集, 1010 - 1015, 1993