

무인 스피드스프레이어의 개발 (II)⁺
-화상처리를 이용한 주행방향 제어 알고리즘-

Development of Unmanned Speedsprayer (II)
-Guidance Control Using Image Processing-

장 익 주*	김 태 한*	엄 순 형*
정회원	정회원	정회원
I. J. Jang	T. H. Kim	S. H. Eam

ABSTRACT

A control algorithm for the unmanned vehicles was developed using image information received through a CCD camera that acquires more powerful information over the wide range of wave-length comparing with other sensors and was applied to a speed-sprayer.

The algorithm consisted of straight mode for passing along with middle of two tree-rows and turning mode for changing from a row to another row. In case of turning mode, two marks of colored papers were employed to indicate turning point and to decide turning direction for various orchard situations.

The method of analysis and image would be differed according to camera's tilt-angle and position that is set on the speed-sprayer. Hence, it analyzed the point of difference by making camera's up and downward tilt-angle.

주요용어(Key Words): 스피드스프레이어(Speedsprayer), 무인 차량(Unmanned vehicle), 문턱값(Threshold), 오류확률(Error proability)

1. 서 론

본 연구는 연간 수십회씩 살포하는 과수원용 고성능 방제기인 스피드스프레이어를 무인화하여 운전자를 농약중독 등으로부터 보호하기 위한 연구로서 제 1보(장 등, 1995)인 원격제어 및 유도케이블 시스템에 이어서 CCD 카메라를 이용하여 자율 주행하는 시스템의 연구이다.

Kamada와 Yosida(1992)는 영상처리장치를 이용하

여 저속자동차의 자율주행을 시험하였고, Li와 Wilson(1994)은 영상처리를 이용하여 트랙터의 작업을 조향하는 알고리즘을 개발하였다. 기 등(1996)도 퍼지논리를 이용하여 화상처리와 초음파센서로 스피드스프레이어를 제어하였으나 선회를 할 수 없다는 단점을 보였다. 이 등(1998)의 DGPS와 초음파센서를 이용하여 스피드스프레이어의 제어 시뮬레이션은 직진과 선회가 가능하였으나, 과수원의 주행경로를 미리 입력하여야만 했다. 본 연구는 추가적인

⁺ 본 연구는 94년도 농촌진흥청 특정과제로 수행되었음

* 경북대학교 농업기계공학과

장비없이 화상처리만을 이용하여 직진과 선회의 전 과정을 통하여 제어가 가능하였고 최대편차 0.4m의 정밀도로 주행이 가능하였다.

본 연구에서는 특히 무인 스피드스프레이어에 설치한 카메라의 視角과 위치에 따라 화상과 분석방법이 달라지므로 카메라의 視角을 上向과 下向으로 나누어 차이점을 분석하고 무인 스피드스프레이어의 카메라 視角을 결정하였다.

CCD 카메라에 의한 무인 스피드스프레이어의 제어는 직진제어와 선회제어로 나누어 수행하였다. 직진제어에서는 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.

2. 재료 및 방법

가. 무인 스피드스프레이어의 구성

무인 차량 제어를 위한 시스템의 구성은 그림 1과 같이 Sony사의 XC-711 CCD 카메라로 얻은 아날로그 화상정보를 ITEX MFG image board를 사용하여 디지털 정보로 변화시켜 80486 DX 컴퓨터로 화상을 분석하고 진행 방향을 결정하였다. 결정된 진행방향은 PCL-812 IO 카드를 이용하여 자체 제작한 제어장치(제 1보 참고 : 장 등, 1995)를 사용하여 주행장치를 제어하여 무인주행을 실험하였다.

카메라의 視角은 그림 3에서와 같이 지상 3.5m에서 下向 45°와 그림 2에서와 같이 지상 0.75m에서 上向 45°로 설치한 두 종류의 카메라의 위치에서 제어를 수행하였다. 카메라의 각도와 위치를 상기와 같이 한 이유는 상기의 조건에서 화상의 원근감이 가장 좋게 나타나고 인식율도 높았기 때문이다. 또한 90°의 광각렌즈를 사용했으므로 인식거리에는 제한이 없었다.

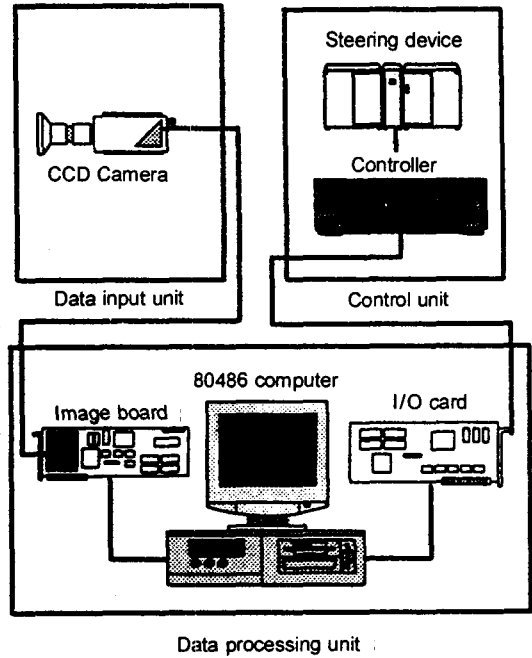


Fig. 1 Vision based unmanned speedsprayer system.

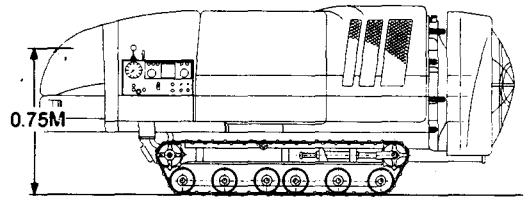


Fig. 2 Speed-sprayer using upward camera.

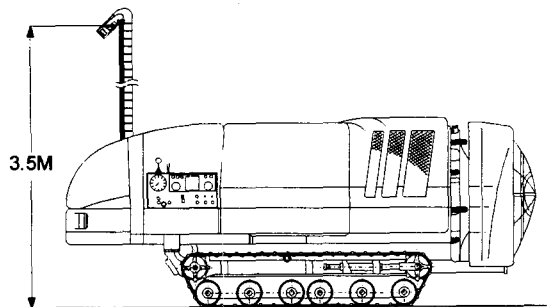


Fig. 3 Speed-sprayer using downward camera.

나. 정규 패턴에 대한 Bayes 분류기

가장 식별율이 좋은 표지를 결정하고, 수열과 표지의 인식을 위한 결정함수를 구하기 위해서 정규 패턴에 대한 Bayes 분류기를 사용하였다. 패턴인식의 유효성은 오류확률을 구하여 추정하였다. 분류할 대상을 동일한 수로 표본화소를 선정하고 식 1, 식 2에 적용하여 결정함수를 구하고, 식 3, 식 4에 적용하여 오류확률을 구했다.

이 접근방법에서는 결정함수를 구하기 위하여 패턴분류의 통계적 특성을 고려하고 분류규칙은 평균 개념에 바탕을 둔 통계적인 접근방법을 사용함으로써, 오분류 확률을 줄일 수 있다는 점에서 최적이다. 그리고, 오류확률을 사용하여 인식률을 예측할 수 있다는 장점이 있다.

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

$$m_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=0}^{N_i} X_{ij} \dots\dots\dots (2)$$

X : Pattern N : Class m : Mean vector

$$r_{ij} = (m_i - m_j)' C^{-1} (m_i - m_j) \dots\dots\dots (3)$$

$$p(e) = \int_{\frac{1}{2}\sqrt{r_{ij}}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \dots\dots\dots (4)$$

C : Covariance $p(e)$: Error probability

다. 주행방향 제어 알고리즘

그림 4와 같이 과수원용 스피드스프레이어의 주행은 양쪽 과수열의 중심으로 진행되는 직진 부분과 다음 과수열 사이로 이동하기 위한 선회부분이 있다. 스피드스프레이어가 무인으로 연속적인 작업을 수행하기 위해서는 양쪽 과수열 사이로 직진만이 아

니라, 다음 과수열 사이로의 선회가 필요하다.

따라서, 무인 스피드스프레이어의 제어 알고리즘은 그림 5의 알고리즘과 같이 직진제어와 선회제어의 두 부분으로 구성된다. 직진제어에서 선회제어로의 전환은 그림 5의 알고리즘과 같이 첫 번째 표지

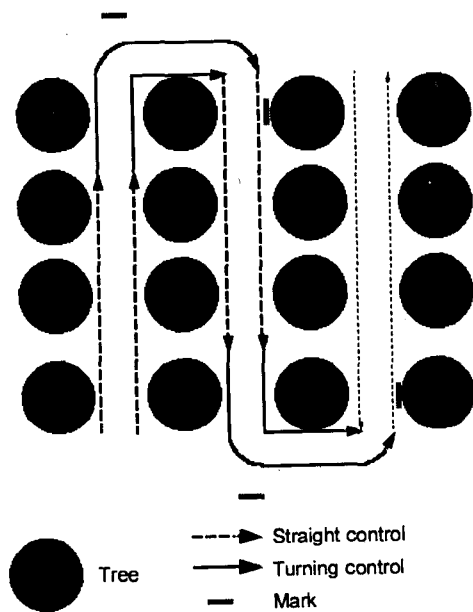


Fig. 4 Track of speedsprayer.

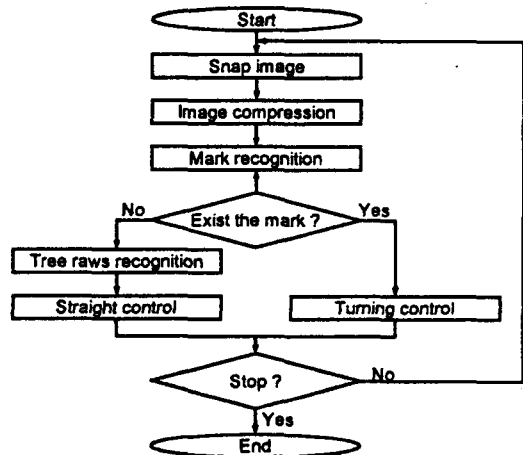


Fig. 5 Flowchart of vision based unmanned speedsprayer control.

의 화상내의 크기와 위치를 기준으로 하였다. 그리고, 선회제어에서 직진제어로 전환은 2번째 표지가 화상에서 사라지는 시점을 기준으로 하였다. 선회시 표지판을 이용한 것은 과수원의 울타리 등과 같은 주행에 불필요한 장애물에 독립적으로 주행을 수행하기 위한 것이다.

주행방향 제어는 자체 제작한 유압식 조향장치를 사용하여 다음과 같은 알고리즘으로 수행하였다.

Step 1. 직진 제어를 행한다.

양쪽과수열의 중심의 x 좌표와 화면중심의 x 좌표를 비교하여 방향을 결정한다.

```
IF      X < Xcenter  Left;
ELSE IF X > Xcenter  Right;
ELSE                                         Center;
```

Step 2. 직진 제어에서 선회 제어로 전환한다.

첫 번째 표지의 면적이 기준값보다 크면 선회제어로 전환한다.

```
IF Mark1_size > Base_size  Turnig Control;
```

Step 3. 선회 제어를 행한다.

선회방향 제어는 표지의 x, y를 기준으로 한다.

3.1. 선회방향을 결정

```
IF Former_Turnig = Left  Right;
Else                      Left;
```

3.2. 첫 번째 회전위치까지 첫 번째 표지를 향해간다.

```
IF YMark1 < YBase
    Straight control using XMark1;
```

3.3. 첫 번째 표지를 기준으로 90° 선회

```
IF XMark1 > XBase  Turnig using XMark1;
```

3.4. 두 번째 회전위치까지 두 번째 표지를 향해간다.

```
IF YMark2 < YBase
    Straight control using XMark2;
```

3.5. 두 번째 표지를 기준으로 90° 선회

```
IF XMark2 < XBase  Turing using XMark2;
```

Step 4. 선회 제어에서 직진 제어로 전환한다.

두 번째 표지의 x 좌표를 기준으로 선회한다.

```
IF XMark2 < XBase
    Turnig control using XMark2;
```

라. 上向視角 카메라를 사용한 직진제어

1) 자동 문턱값결정 알고리즘

자연광은 태양의 고도와 광도의 변화가 심하고 도플러 효과로 인하여 동일한 대상에 있어서도 화상의 변화가 심하다. 따라서, 결정함수로 대상을 식별하는 기준이 되는 문턱값 역시 변화하므로 과수열의 인식에서는 각 화상마다 변화하는 문턱값을 결정하기 위해, 그림 6과 같은 방법을 사용했다.

2) 직진제어

양쪽 果樹列의 사이를 진행할 때 행해지는 직진 제어는 카메라에서 입력받은 화상을 처리하여 양쪽 과수열의 중심을 진행방향으로 결정하였다. 과수열의 식별은 자동적으로 결정된 문턱값을 기준으로 화상을 2치화하고, y축으로 8 화소마다, x축으로 8 화

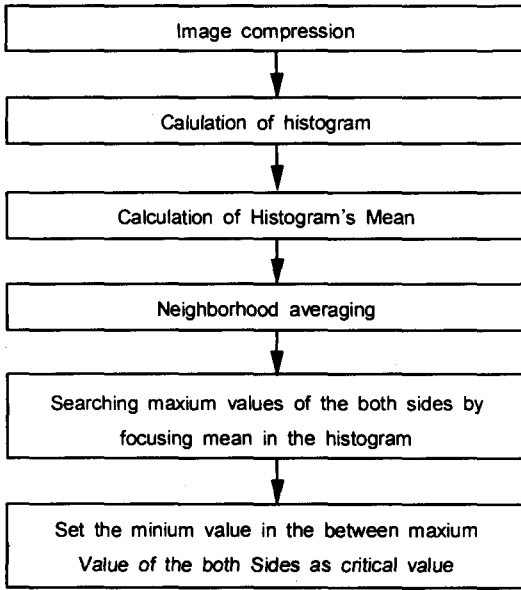


Fig. 6 Variable thresholding algorithm.

소씩 G값의 평균값을 표본화소로 하였을 때 과수열의 가장 낮은 부분을 양쪽 과수열의 중심으로 하여 주행하도록 하였다.

마. 下向視角 카메라를 사용한 직진제어

그림 7과 같이 下向視角 카메라에서 화상처리는 양쪽 과수열의 중심선에서 좌우로 확장 검색하여 각 영역의 경계점을 인식하고 회귀분석하여, 果樹列間과 과수열의 경계선, 하늘과 과수열의 경계선을 결정한다. 각 경계선을 기준으로 과수원을 하늘영역, 왼쪽 과수열영역, 오른쪽 과수열영역, 果樹列間 영역으로 구분한다. 그리고, 양쪽 과수열의 중심선은 왼쪽과 오른쪽 2개의 과수열과 果樹列間的 경계선을 평균하여 일차 직진형식으로 구한다.

바. 선회제어

선회제어는 선회 위치에 설치된 2개의 표지의 화상 내 위치와 크기를 기준으로 진행방향을 결정하였다.

그림 8은 화상에서 표지를 인식하는 알고리즘을

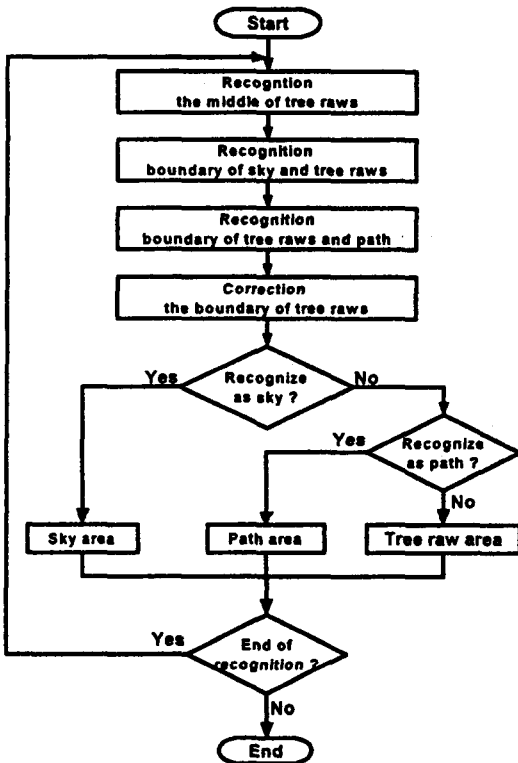


Fig. 7 Algorithm of the pattern recognition.

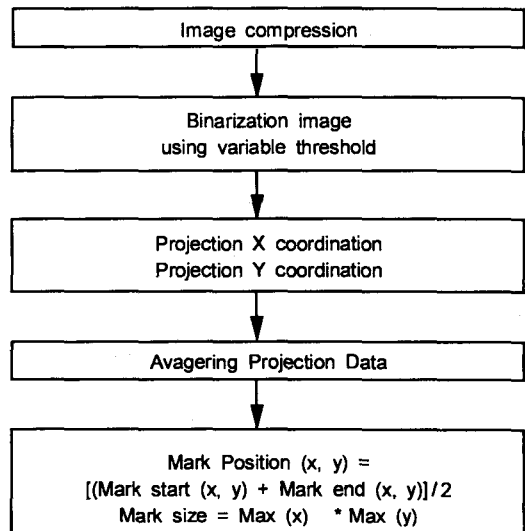


Fig. 8 Decision of the mark position and area.

플로우차트로 나타낸 것이다. 화상을 압축하고 2차 화를 한 다음 x 축, y 축에 투사하였다. x 축, y 축상에 투사된 표지의 화소 수의 최대값으로 표지의 면적을 계산하고, 중심점으로 표지의 위치를 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 표지 선정

표지의 색을 결정하기 위해서, 만셀 색상환에서 72° 간격으로 빨강, 노랑, 녹색, 파랑, 주홍 다섯 종류의 색상을 표본으로 선정하였다. 이 색상들을 표지로 하여, 다양한 밝기의 화상에서 표지와 배경의

표본 화소수를 각각 6,400개씩 선정하고, Bayes 분류기로 계산하여 오류확률을 구하였다.

그 결과 표 1에서 처럼, 빨강의 오류확률이 가장 낮은 8.7%로 나타나, 적색계열의 색상이 가장 식별이 용이한 것으로 나타났다.

더욱 정확한 표지의 색상을 결정하기 위하여 J사의 Red계열의 7가지 색상을 정하여 오류확률을 구한 결과, 형광 빨강(Fluorescent red)이 2.9%로 가장 식별이 용이한 색상으로 나타났다.

나. 上向視角 카메라를 사용한 직진제어

1) 자동 문턱값 결정 알고리즘

표 2는 다양한 밝기의 화상에서 과수열, 형광빨강

Table 1 Error probability of color sheet

Color	r_{ij}	$\frac{1}{2} \sqrt{r_{ij}}$	Error probability
Red	7.382	1.359	8.7 %
Yellow	2.657	0.815	20.7 %
Green	0.400	0.316	37.6 %
Blue	2.314	0.761	22.3 %
Purple	2.120	0.728	23.3 %
Fluorescent red	12.111	1.740	2.9 %
Fluorescent purple	11.680	1.709	3.1 %
Fluorescent light purple	4.670	1.081	11.9 %
Fluorescent pink	3.302	0.909	16.0 %
Fluorescent light pink	2.832	0.841	17.9 %
Fluorescent scarlet	2.450	0.783	20.6 %
Orange	7.588	1.377	6.6 %

Table 2 Decision function

Control	Decision function	Error probability	Approximation of decision function
Straight	$0.071R + G + 0.095B > 168.680$	19.2 %	$G > 169$
Turning	$R - 0.986G + 0.012B > 3.766$	2.9 %	$R - G > 3$

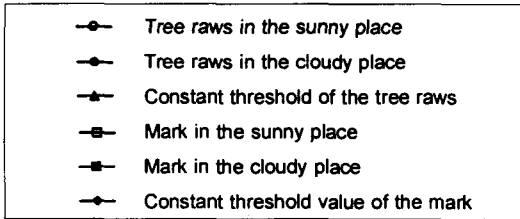
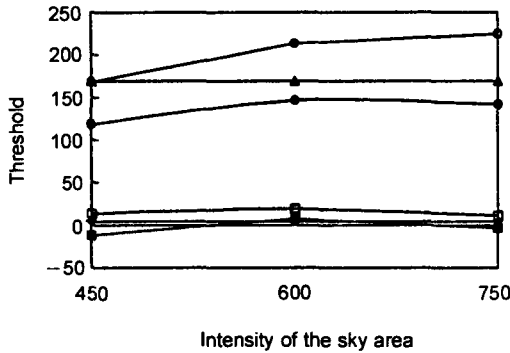


Fig. 9 Threshold variation about Intensity of sky area.

의 표지, 배경의 표본 화소를 각각 6,400개씩 선정하고, Bayes 분류기로 계산한 결정함수와 오류확률이 다.

직진제어에서 수열을 인식하는 결정함수는 $0.071R + G + 0.095B > 168.680$ 로 계산되었고, 컴퓨터에서 처리속도를 높이기 위해 $G > 169$ 로 근사하였다. 선회 제어에서 형광빨강의 표지를 인식하는 결정함수는 $R - 0.986G + 0.012B > 3.766$ 로 계산되었고, 결정함수는 $R - G > 3$ 으로 근사하였다. 오류확률은 직진제어가 19.2%로 선회제어의 2.9% 보다 큰데 이는 직진제어의 경우, 선회제어의 경우보다 자연광의 밝기에 따라 문턱값의 변화가 심한데 기인한다.

그림 9는 실제 화상에서 하늘의 명도(Intensity)가 450, 600, 750 일 때 음지와 양지에서 과수열과 표지의 인식을 위한 문턱값의 변화를 고정문턱값과 비교하여 나타낸 것이다.

표지의 인식을 위한 결정함수의 문턱값은 변화가 적었고, 고정된 문턱값과의 차가 최대 16.64였으며

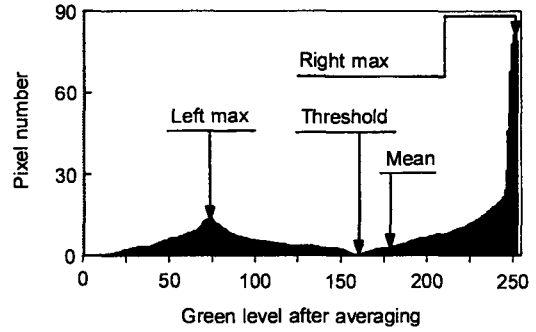


Fig. 10 Histogram of Green level after averaging.

로, 선회제어에서 표지는 자연광의 변화에 따른 문턱값의 변화 및 오류확률이 크지 않아 인식이 용이했으므로, 처리속도를 지연시키는 자동 문턱값 결정 알고리즘을 적용하지 않았다.

일반적으로 하나의 문턱값이 대상 식별의 기준으로 사용된다. 과수열을 인식하는 직진제어의 결정함수는 문턱값의 변화가 56.03이나 되어 고정된 문턱값을 사용했을 때 문턱값의 변화가 56.03이나 되어 균일하고 높은 인식률을 유지할 수가 없었다. 그러므로, 입력된 화상을 분석하여 문턱값을 자동적으로 결정해 주는 알고리즘을 개발하여 사용하였다.

화상의 상태에 따라 문턱값을 결정하기 위해서는, 그림 10에서와 같이 작업영역 내의 압축된 화상정보의 Green 값의 히스토그램을 작성한 후 평균 Green level을 구하고 이동평균을 이용해 평활화하여 히스토그램의 잡음을 감소시켰다. 다음 단계로 평균값을 중심으로 좌우의 최대값을 구하고, 좌우 최대값 사이의 최소값을 문턱값으로 정했다.

동일한 화상에 대하여 이와 같이 구해진 문턱값과 Bayes 분류기에서 구해진 문턱값과는 정확히 일치하지는 않는다. 그러나, 다양한 화상에 대하여 적용한 결과, 각각의 화상에 대하여 고정된 문턱값을 사용할 때보다는 정확한 문턱값을 얻을 수 있었으며, 하나의 문턱값으로 과수열을 인식하는 것 보다는 인식율이 높았다.

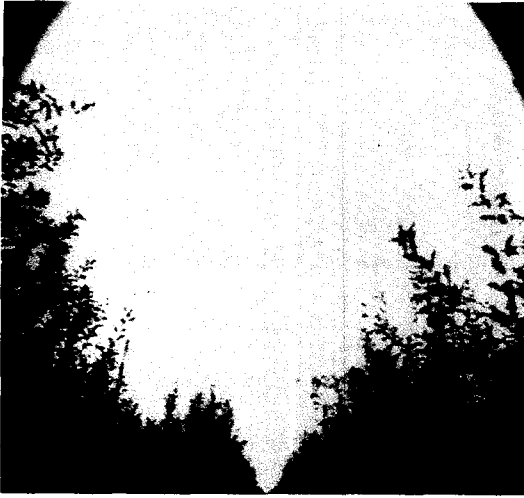


Fig. 11 Tree rows image.



Fig. 12 Binarized Image in the straight Control.

2) 上向視角 카메라를 사용한 직진제어

上向視角 카메라에서 입력받은 화상의 경우 자연 광의 변화에 따라 과수열 식별을 위한 결정함수의 문턱값의 변화가 심했으므로, 그림 12는 그림 11의 화상을 자동 문턱값 결정 알고리즘으로 구한 문턱값으로 과수열을 식별하여 2치화를 한 화상이다.

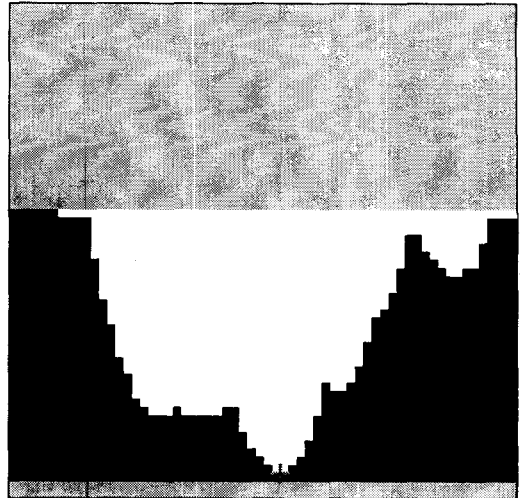


Fig. 13 Concave Removed Image in the Straight Control.

그림 13는 그림 12의 화상으로부터 과수의 높이를 구하고, 이동평균을 사용하여 오목 잡음을 줄인 다음, 나무의 높이가 가장 낮은 지점을 양쪽 果樹列의 중심으로 결정한 화상이다. 이 화상에서 십자형 표시가 양쪽 果樹列의 중심이다.

다. 下向視角 카메라를 사용한 직진제어

1) 양쪽 과수열의 중심 인식

下向視角 카메라에서 양쪽 과수열의 중심인식은 과수열과 果樹列間은 색상차가 크지 않았으므로, 과수열이 果樹列間 보다 복잡한 형태를 가진다는 점을 이용하였다. 그림 14는 화상을 수직으로 표준편차를 측정하고, 평활화 하여 그 값이 최소가 되는 지점을 양쪽 과수열의 중심으로 인식하는 것을 나타낸 그림이다. 그리고, 그림 15와 같이 문턱값을 기준으로 양쪽과수열의 중심선을 하늘영역과 果樹列間 영역으로 나눈다. 양쪽과수열의 중심선상의 각 영역은 인식대상을 결정하는 기준이 된다.

2) 과수열과 果樹列間的 경계선 인식

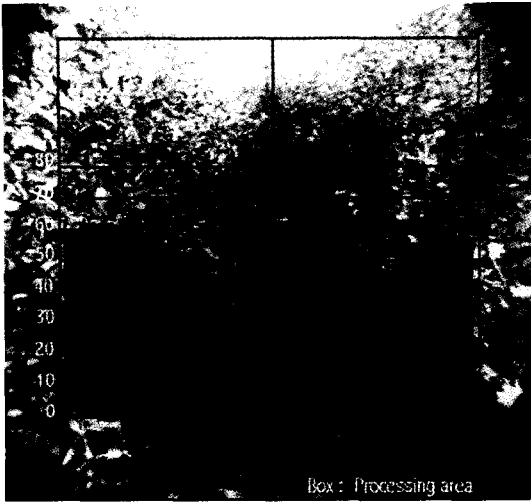


Fig. 14 Determine the middle of tree rows after averageing.



Fig. 16 Boundary line detection and correction.

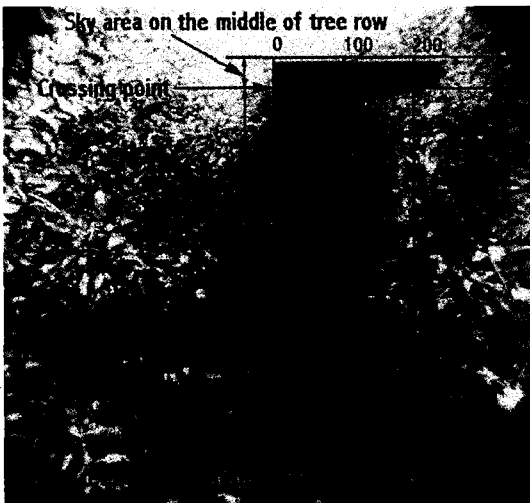


Fig. 15 Determine the tree rows and path area as thresholding.



Fig. 17 Corection of boundary point.

그림 16과 같이 양쪽 과수열의 중심선상의 果樹列間 영역을 좌우로 확장 검색하여 Green 값의 표준편차가 최초로 문턱값을 넘는 점을 경계점으로 인식하였다. 경계점을 회귀분석하여 경계선을 결정하고, 양쪽 과수열의 중심선상의 하늘영역과 과수열 영역

만나는 지점을 지나도록 경계선을 보정하였다.

그림 17은 화상처리 영역을 수직으로 이등분하여 위 영역은 경계점이 경계선보다 내부에 위치하도록, 아래 영역은 경계점이 경계선보다 외부에 위치하도록 경계점을 보정한 것이다.

보정된 경계점으로 경계선을 검출하고 다시 경계

선과 경계점을 보정하는 과정을 2회 반복하여 그림 18과 같이 경계선을 최종적으로 결정하였다. 그리고, 최종적으로 결정된 왼쪽과 오른쪽 2개의 과수열과 果樹列間의 경계선을 평균하여 정확한 양쪽 과수열의 중심선으로 하였다.

3) 하늘과 과수열의 경계선 검출

경계선의 인식은 그림 19와 같이 양쪽 과수열의 중심선의 하늘영역을 좌우로 확장 검색하여, G 값이



Fig. 18 Boundary line and middle of tree rows.



Fig. 19 Boundary line of sky and tree rows.

최초로 문턱값을 넘는 지점을 경계점으로 인식하였다. 그리고, 경계점을 회귀분석하여 경계선을 결정하고, 양쪽 과수열의 중심선상의 하늘영역과 과수열 영역이 만나는 지점을 지나도록 경계선을 보정하였다.

라. 下向視角 카메라에서 화상의 인식 결과

下向視角의 경우 그림 20과 같이 하늘, 왼쪽 과수열, 오른쪽 과수열, 果樹列間의 4가지 영역과 양쪽 과수열의 중심을 일차 직선으로 인식하여 과수원의 형상에 대한 종합적인 판단이 가능하였다. 그리고, 이러한 인식결과는 표 3, 표 4와 같이 실시간으로 수치화 할 수 있었다.



Fig. 20 Image in downward camera location.

Table 3 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 4 Area

Area	MO. Pixels	%	
Sky	16,120	6.6%	
Tree raws	Left	91,332	31.1%
	Right	88,974	36.2%
Path	49,313	20.1%	



Fig. 21 Image in the turning control.

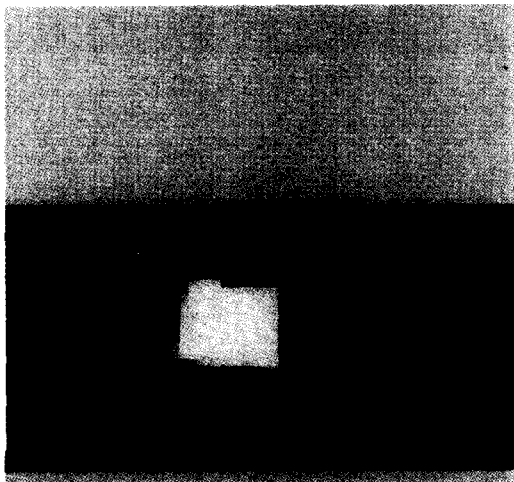


Fig. 22 R-G Image in the turning control.

다. 선회제어

果樹列에서 다음 果樹列로 이동할 때 행해지는 선회 제어에서 표지는 1회 선회시 2개씩 사용하며, 무인 주행 스피드스프레어의 과수원에서의 선회는 그림 4에서 도시한 것과 같이 좌회전과 우회전이 반복적으로 발생한다.

그림 22는 그림 21의 화상을 화상처리 영역을 설정하여 결정함수 R-G 값으로 압축한 화상이다. 그리고, 결정함수로 2차화한 화상을 x 축, y 축상에 투사한 값을 평활화하여 최대값의 곱으로 표지의 면적을 계산하고, 중심점을 표지의 위치로 하였다. 그림 23의 십자형 지점은 표지의 중심위치를 나타낸 것이다.

바. 주행 평가

그림 24는 주행중인 스피드스프레어이다. 실험은 과수열 내의 임의의 위치에서 출발하고, 선회위치 역시 임의로 지정하여, 각 위치마다 선회 방향의 기준이 되는 표지를 2개씩 설치하였다. 화상 처리 시스템에서 인식된 표지의 크기와 위치에 따라서 직진제어, 선회제어가 결정된다. 무인 주행 스피드스프레어는 설치된 표지를 추적하여 진행하는 선회 제어를 하였다.

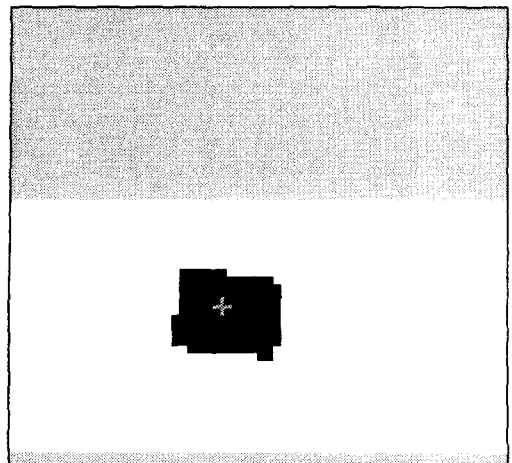


Fig. 23 Binary image in the turning control.

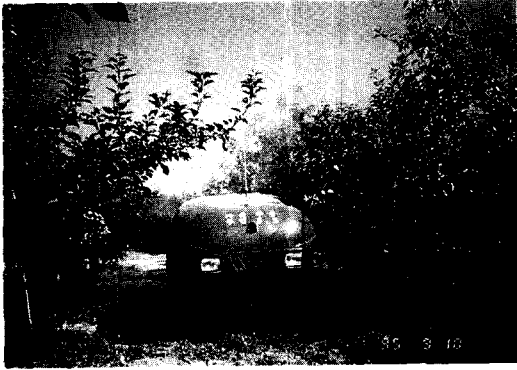


Fig. 24 Traveling speedsprayer.

Table 5 RMS value for speedsprayer using downward camera

Control mode	RMS Value
Straight	0.211 m
Left turning	0.208 m
Right turning	0.217 m

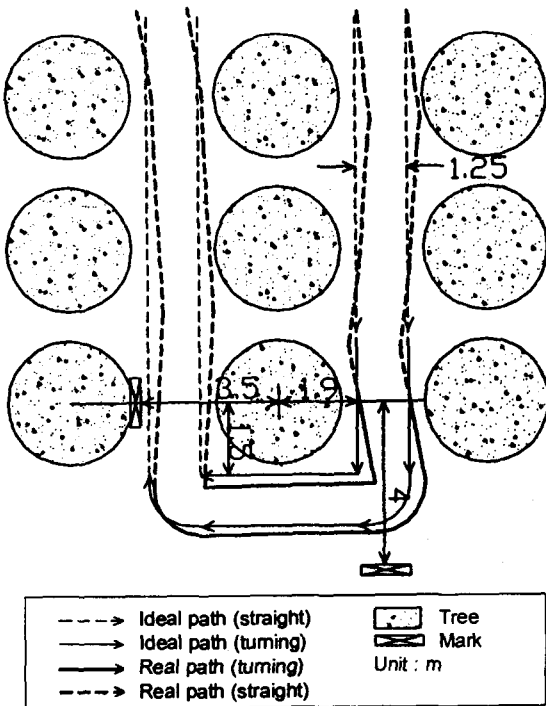


Fig. 25 Speedsprayer track using upward camera.

Table 6 RMS value for speedsprayer using upward camera

Control mode	RMS Value
Straight	0.192 m
Left turning	0.202 m
Right turning	0.219 m

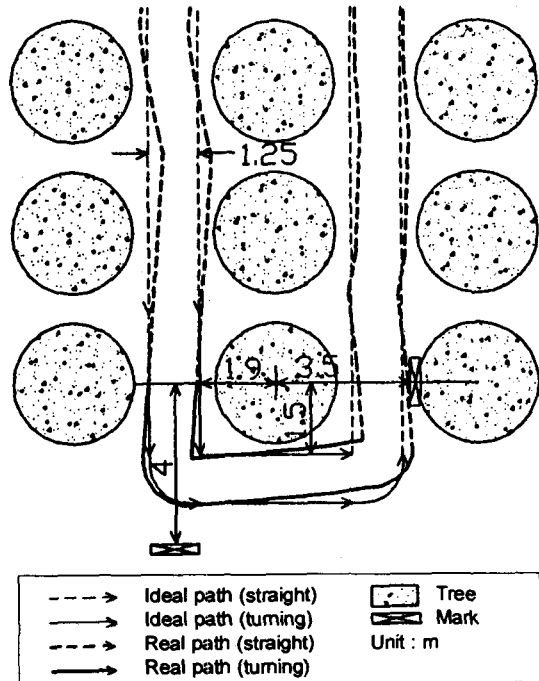


Fig. 26 Speedsprayer track using downward camera.

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. 주행 실험은 1994년 7월 3일 원예연구소내 사과 과수원에서 맑은 날씨하에서 수행하였다.

주행속도는 직진제어와 선회제어에서 모두 1.0 km/hr로 진행하면서, 목표로 하는 주행경로와 실제 주행경로와의 거리차를 0.5m 간격으로 4회씩 직진 제어의 경우 80개, 선회제어의 경우 27개씩 데이터

를 수집하였다.

표 5는 上向視角 카메라에서 측정한 RMS 값이며, 표 6은 上向視角 카메라에서 측정한 RMS 값으로 모두 0.22m 이내의 값을 유지하였다. 그림 25는 上向視角 카메라에서 그림 26은 下向視角 카메라에서 목표로 하는 주행 경로와 실제 주행 경로를 그린 것이다. 점선부분은 직진제어를 실선부분은 선회제어를 나타내고, 가는 선은 목표로 하는 주행경로를 굵은 선은 실제 주행경로를 나타낸 것이다. 주행편차는 上向視角 카메라와 下向視角 카메라에서 모두 최대 편차가 0.4m 이내의 오차로 제어가 이루어졌다.

4. 결 론

본 연구에서는 CCD 카메라를 사용하여 얻은 화상 정보를 이용하는 무인 스피드스프레이 제어 알고리즘을 개발하여 S.S기에 구현하였다.

제어 알고리즘은 양쪽 果樹列의 중심을 진행하도록 하는 직진 제어 알고리즘과 진행하는 果樹列에서 다음 果樹列으로 이동할 때 행하여지는 선회 제어 알고리즘을 별도로 개발하였다. 선회 제어에 있어서 과수원의 다양한 조건에 대응하여 불균일한 선회 위치를 지정하고 선회 방향을 결정하기 위하여 색지를 부착한 2개의 표지를 기준으로 선회하도록 하였다.

그리고, 카메라의 視角과 위치에 따라 화상과 분석방법이 달라진다. 본 연구에서는 카메라의 視角을 上向과 下向 두 가지로 장착하여 형상인식과 제어의 차이점을 분석하였다.

일련의 실험에서 얻어진 결론을 요약하면, 다음과 같다.

1) 제어는 다음과 같이 4 단계로 반복적으로 수행하였다.

- Step 1. 직진 제어를 행한다.
- Step 2. 직진 제어에서 선회 제어로 전환한다.
- Step 3. 선회 제어를 행한다.
- Step 4. 선회 제어에서 직진 제어로 전환한다.

2) 上向視角 카메라를 사용한 과수원의 형상 인식은 외계와 식별대상간의 색상차가 커서 색상차만으로 식별이 가능하였으나, 태양광이 카메라에 직접 유입될 때 발생하는 화상 손상으로 인한 인식의 오류가 발생할 수 있고, 과수열간을 직접적으로 인식할 수 없다는 단점이 있다.

3) 태양광이 카메라에 직접 유입될 때 발생하는 화상 손상은 카메라를 下向으로 설치함으로써 방지할 수 있었다. 이 경우, 上向視角 카메라를 사용할 때 보다 인식대상간의 색상차가 줄어들어 색상만으로는 인식이 어렵기 때문에 과수열과 果樹列間의 형태의 복잡성을 표준편차로 측정하여 果樹列間 영역을 직접 인식할 수 있었다.

4) CCD 카메라만을 센서로 사용하여 0.25초 이내 한 번씩 제어신호를 발생시켜 실시간 주행방향 제어가 가능하게 하였다.

참 고 문 헌

1. 기노훈, 조성언, 최창현. 1996. 기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레이의 자율주행(II) -실제주행-. 한국농업기계학회지. vol. 21(2): 175-181.
2. 이성환. 1994. 패턴인식의 원리 I. pp. 127-195, 홍릉과학출판사.
3. 이제훈, 조성인, 이정엽. 1998. DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레이의 자율주행(II) -실제주행-. 한국농업기계학회지 vol. 23(1):75-82.
4. 장익주, 김태한. 조명동. 1995. 무인 스피드스프레이의 개발 (I), 한국농업기계학회지. vol. 20(3): 226-235.
5. 장익주. 1994. 과수원 작업의 무인 로봇화 방향. 果樹園 作業 省力化 및 發展方向. pp. 59-79, 農村 振興廳 果樹研究所.
6. 章 益柱(Ik Joo Jang) 스피드프레이(SS)의 자동화. 1993. Proceeding of the Japan-Korea

- Cooperative Seminar on Agricultural Engineering. Masue-City, Japan, pp. 9-16.
7. Kamada, H., and M. Yosida. 1992. A Visual Control System Using Image Processing and Mission of Agricultural Automation. ASAE Paper NO. 9301048, Summer Meeting.
8. 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.
9. Rafael C. Gozales, and Richard E. Woods. Digital Image Processing. pp. 579-583, Addison-Wesley.



학위취득

성 명: 김 영 근 (金 映 根)
생 년 월 일: 1964년 6월 10일
취 득 학 위 명: 농 학 박사
학 위 수 여 대 학: 일본 구주대학
학 위 취 득 년 월 일: 1998년 3월 12일
학 위 논 문: 콤바인 수확에 관계하는 작물 줄기의 역학적 특성에 관한 연구



학위취득

성 명: 성 제 훈 (成 制 勳)
생 년 월 일: 1968년 2월 14일
취 득 학 위 명: 농 학 박사
학 위 수 여 대 학: 전남대학교
학 위 취 득 년 월 일: 1998년 2월 26일
학 위 논 문: 오이 생육장애의 비파괴 진단법 개발

