

# 스테레오 영상처리를 이용한 토마토 위치검출 알고리즘 개발

## Position Detection Algorithm Development for Tomato by Stereo Vision

손재룡\* 홍종태\* 박환중\* 최 용\* 최규홍\*  
 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원  
 J.Y.Son J.T.Hong H.J.Park Y.Choi K.H.Choi

### 1. 서 론

시설하우스내에서 재배되는 과실 및 과채류는 연중 생산이 가능하고 고소득 작목으로서 농촌의 주요 소득원으로 자리잡고 있다. 그러나 이농현상에 따른 농촌 노동력의 감소와 고온다습한 하우스내 열악한 환경조건, 특히 전체 투입노동력의 30.9%를 차지하는 수확작업의 기계화 요구도는 절실한 실정이다.

최근 일반산업분야에서 로봇화가 급속하게 진전되고 주변첨단기술의 발달로 인해 농업에 응용 가능한 로봇 기술 접목이 급속히 전개되고 있다. 과실수확의 로봇화를 위해서는 목표물을 인식하고 공간좌표상의 특정 위치를 알아내는 시각부의 연구가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 토마토 수확로봇 개발의 1단계로 스테레오 영상처리를 이용하여 토마토의 3차원 위치정보를 얻고, 실제 3차원 위치정보 값과 비교 분석하여 수확용 로봇에 이용 가능성을 검토하였다

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 영상처리시스템

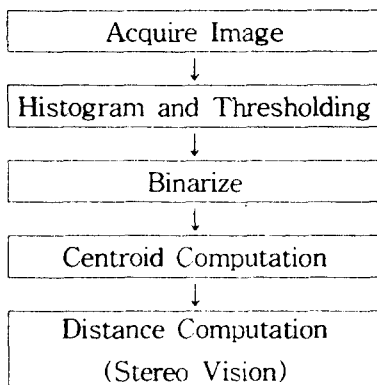


Fig.1. Flowchart of Stereo Image Processing

토마토를 인식하기 위한 영상처리시스템은 스테레오 영상을 얻기위한 거리측정용 칼라 CCD카메라(PULNIX TMC-74)2대와 영상처리용 프레임 그래버(ITECH MFG), 컴퓨터(Pentium-166MHZ), 데이터 출력용 프린터 등으로 구성하였다.

영상처리 순서는 그림 1과같이 카메라에서 얻어진 R, G, B 영상을 히스토그램 분석 및 적정 문턱값을 설정하여 2치화한 후 원하는 완숙 토마토만을 추출하여 각각에 대한 중심좌표값을 산출하여 스테레오 거리측정 알고리즘을 통하여 거리를 계산하는 순서로 이루어져 있다.

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

## 2.2 토마토 위치검출 알고리즘

### 2.2.1 중심좌표계산'

3차원 위치를 구하기 위해서는 2차화된 토마토 영상의 정확한 중심좌표를 알아내야 한다. 중심좌표(  $cent_x$ ,  $cent_y$  )는 토마토 영상의 최대 외접사각형을 구하여 x 및 y방향의 최소점과 최대점의 합을 반으로 하는 지점의 좌표가 된다. 투영영상의 x방향 최소 및 최대값을 (  $min_x$ ,  $max_x$  ), 투영상상의 y방향 최소 및 최대값을 (  $min_y$ ,  $max_y$  )라고 하면, 중심좌표 (  $cent_x$ ,  $cent_y$  )는 다음식으로 계산된다.

$$cent_x = (min_x + max_x) / 2$$

$$cent_y = (min_y + max_y) / 2$$

### 2.2.2 거리계산(위치검출)

사람의 두눈에 의해 거리를 판단하는 것과 같이 스테레오 영상처리를 이용하여 2차원 영상법으로 3차원 거리를 얻는 원리를 이용하였다. 일정거리 만큼 떨어진 두 대의 카메라에서 입력된 영상의 위치 변화량을 이용하여 거리를 구하도록 프로그램 하였다. 위치검출 순서는 그림 2와 같다.

- < step 1 > 첫 번째 카메라에서 영상 입력
- < step 2 > 토마토 인식 및 이치화
- < step 3 > 중심좌표 계산
- < step 4 > 두 번째 카메라에서 영상 입력
- < step 5 > 토마토 인식 및 이치화
- < step 6 > 중심좌표 계산
- < step 7 > 두 카메라의 영상이 같은지 비교
- < step 8 > 두 영상간 토마토 위치 변화량에 의해 거리를 계산한다.

스테레오 영상법에 의해 거리를 계산하기 위해서는 두 카메라에서 얻어진 영상이 동일한 물체이어야 한다.

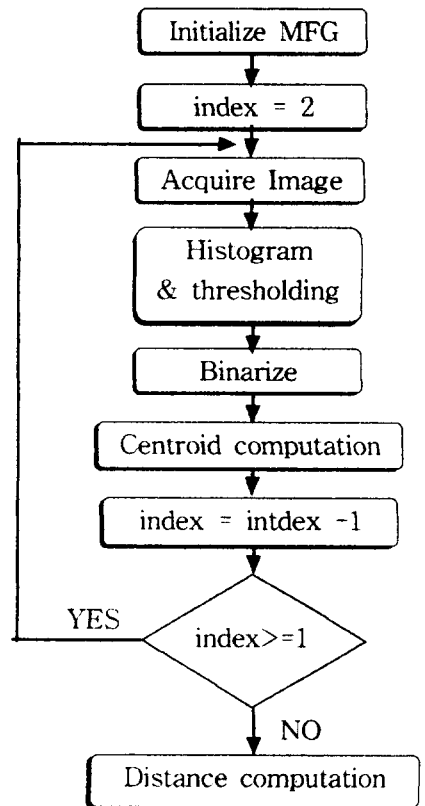


Fig .2. Flow chart of distance computation by Stereo vision

따라서 동일 물체인지를 판단하기 위한 파라미터를 설정하여 거리계산에 이용하였다. 사용된 파라미터는 왼쪽 및 오른쪽에서 입력된 영상은 같은 높이에 있어야 하고, 토마토 영상의 長徑, 短徑, 체인코드내 총 픽셀수(면적) 및 경계선 화소수(주변길이) 등을 설정하여 왼쪽 카메라에서 입력된 영상 각각의 파라미터들과 오른쪽 카메라에서 입력된 영상 각각의 파라미터들을 서로 비교하여 일치하면 동일물체로 인식 거리계산 프로그램에 의해 계산하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 최적인 두 카메라간 거리 결정

두 카메라간 거리를 60mm, 100mm, 150mm로 세팅하여 실제거리와 검출거리와의 상관관계를 분석한결과 R<sup>2</sup>값이 각각 0.995, 0.999, 0.999로서 모두 고도의 상관관계가 나타났으나, 일정거리 만큼 떨어진 두 카메라 영상의 공유면적(인식영역)에 있어서는 두 카메라간 거리가 150mm일때에 비해 100mm를 사용했을 경우 넓은 인식영역을 나타냈다. 따라서 본 연구에서는 Baseline Distance를 100mm로 사용하였다.

#### 3.2 위치검출 결과

두 카메라에서 입력된 토마토 영상의 위치 변화량에 의해 계산된 검출 거리와 실제거리와의 관계를 분석한 결과 위치검출오차가 x축 및 y축 방향은 -200mm에서 +200mm 사이의 범위에서 각각 11.4mm, 10.4mm, z축방향은 500mm ~ 1000mm 사이에서 9.5mm의 오차가 나타났으며, 토마토 영상 검출면별(토마토 열린 위치별), 조도 및 광원의 위치가 위치검출에 미치는 영향 등에 대한 시험결과는 다음과 같다.

##### 3.2.1 토마토 영상 검출면별(토마토 열린 위치별) 위치검출정도

토마토 위치 (mm)	rms Error (mm)
+300	12.4
+200	13.7
+100	11.1
0	9.5
-100	7.2
-200	13.8
-300	13.9

카메라에서 영상이 입력될 때 화면 중심부 영상에 비해 가장자리부에서 입력된 영상은 왜곡 현상으로 인한 찌그러짐이 발생한다. 따라서 왼쪽에서 입력된 영상에 비해 오른쪽에서 입력된 영상이 상대적으로 화면 중심부에서 떨어져 있으면 두 영상간의 중심위치가 일치하지 않을 수 있기 때문에 거리계산에 오차가 발생하게 된다.

카메라 렌즈와 토마토가 일직선상에 놓일때 토마토 위치를 0mm로 하고 이를 기준으로 상하 ±300mm까지 변화시켜 실제거리와 검출거리와의 위치검출오차를 분석한 결과 7.2mm 13.9mm정도의 오차가 나타났다.

$$* rms = \sqrt{\frac{1}{N} \int_0^n X^2(n) dn}$$

### 3.2.2 조도 및 광원의 위치에 따른 위치검출정도

#### 3.2.2.1 조도에 따른 영향

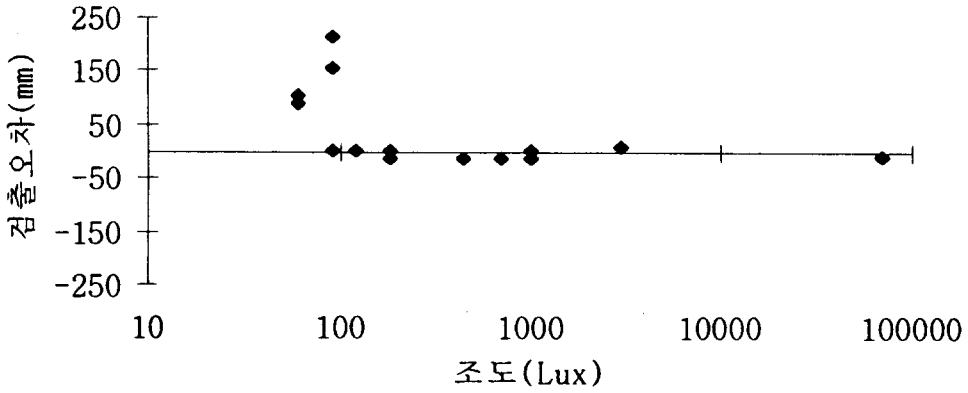


Fig.3. Relationship between Illuminance and Position detection error

그림 2는 조도가 위치검출에 미치는 영향을 분석한 결과이다. 그림에서와 같이 100Lux 이상의 조도에서는 위치검출 오차가 낮게 나타났으며, 100Lux 이하의 조도에서는 광량 부족으로 인한 토마토와 배경의 분리가 완전치 못하여 위치검출 오차가 큰 것으로 나타났다. 또한 조도와 위치검출 오차와의 관계에 대한 유의성 분석을 한 결과 조도 100Lux 이상에서는 조도가 위치검출에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 표 1은 SAS GLM분석 결과이다.

Table.1 Statistical analysis of relationship between illuminance and position detection error

Source	D.F.	S.S.	M.S.	F Value	Pr>F
Model	6	98.01	16,335	0.27	0.9076
Error	2	118.81	59.405		
Corr. Total	8	216.82			
	R-Square	C.V.	Root MSE	Error Mean	
	0.452	100.5321	7.707	7.666	
Source	D.F.	Anova SS	M.S.	F Value	Pr>F
Lux	6	98.01	16.335	0.27	0.9076

### 3.2.2.2 광원의 위치에 따른 위치검출정도

광원의 위치가 위치검출에 미치는 영향을 분석하기 위해서 순광 및 역광에 대해 실제거리와 검출거리와의 오차를 분석하였다. 역광일 때에는 입력된 영상의 왜곡 및 빛 반사로 인한 완전한 영상을 얻지 못하여 검출오차가 15mm 정도로 나타났으며, 순광일 때에는 양호한 영상이 얻어져 검출오차가 9.5mm로 나타났다.

광 원 위 치	rms Error(mm)
순 광	9.5
역 광	15

$$* rms = \sqrt{\frac{1}{N} \int_0^n X^2(n)dn}$$

## 4. 요약 및 결론

본 연구는 스테레오 영상처리를 이용하여 토마토의 3차원 위치검출 알고리즘을 개발하여 토마토 수확로봇의 시각부에 이용하기 위한 연구를 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. x, y, z축방향의 3차원 위치검출은 일정거리만큼 떨어진 두 대의 카메라에서 입력된 영상의 위상차를 이용하여 거리를 측정하는 스테레오 영상처리를 이용하였다. 최적인 Baseline Distance를 결정하기 위하여 두 카메라간 거리를 60, 100, 150mm로 세팅하여 실제거리와 검출거리와의 상관관계를 분석한 결과 인식범위가 넓고 고도의 상관관계를 갖는 100mm가 적당하였다.
2. 위치검출 시험결과 x, y, z축방향에 대한 rms오차가 각각 11.4, 10.4, 9.5mm로 나타났으며, 토마토 위치를 카메라 렌즈를 중심으로 -300mm ~ +300mm까지 변화시켰을 때의 거리측정오차는 7.2mm ~ 13.9mm 정도로 나타났다.
3. 조도 및 광원의 위치가 위치검출에 미치는 영향을 분석하기 위하여 순광 및 역광에 대해서 시험한 결과 각각에 대한 rms오차가 9.5mm, 15.0mm로 나타나 순광에 비해 역광에 대한 검출오차가 다소 큰 것으로 나타났다. 또한 조도에 따라서는 100Lux이하에서는 광량부족으로 인한 물체 인식이 부정확하여 오차가 크게 나타났지만 120Lux이상의 조도에서는 위치검출에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

## 5. 참고문헌

1. 김연호, 1989. 폐쇄회로 TV 카메라에 의한 과실의 위치검출. 서울대 석사학위논문
2. 조용대, 1991. 과실 수확로봇의 영상처리와 작동 알고리즘 개발. 서울대학교 석사학위논문

3. 이종환, 1992. 농산물 및 미립자의 기하학적 특성분석을 위한 컴퓨터 비전 시스템. 서울대학교 박사학위논문
4. 주변첨단기술의 농기계분야 이용현황과 전망(1994), 농촌진흥청 농업기계화연구소
5. 농업기계화의 장기전망과 기계화기술 개발전략에 관한 연구(1995),농림수산부
6. 川村 登(외 3명), 1985. 農業用 ロボットの 研究(第2報 ). 日本農業機械學會誌.
7. 湯用 典昭(외 2명), 1990. 果實收穫 ロボットの 視覺 フィードバック制御(第1報). 日本農業機械 學會誌.
8. 有馬誠一(외 4명), 1995. キュウリ收穫ロボットの 研究(第3報 ). 日本農業機械學會誌.
9. I.D.M.스프라타(외 5명), 1996. 三次元 視覺センサを用いた ミニトマト 收穫ロボット (第1報 ).日本農業機械學會誌.