

칼라 영상을 이용한 토마토 자동 선별시스템의 개발

이 지 훈, *최 연 호, **김 우 현, ***윤 경 섭, 권 우 현
경북대학교, *비주얼텍, **영남이공대학, ***거창전문대
전화 : 053-950-5526 / 핸드폰 : 017-569-7871

Development of Automatic Tomato Grade System with Using a Color Image Processing

Ji-Hoon Lee, Woo-Hyen Kim, Youn-Ho Choi, Woo-Hyen Kwon
Dept. of Electronic & Electrical Engineering, Kyungbuk National University
E-mail : l_j_h@hanmail.net

Abstract

The quality of agricultural products is represented a degree of freshness and a special quality that has a close relation to commercial value. To grade tomatoes, it used to nondestructive equipment of a charge-coupled device(CCD) camera and near-infrared(NIR) spectrum analysis method. The NIR spectrum analysis method is used to determine internal qualities such as a brix and an acidity. The CCD camera is used to measure external qualities like color and a size of tomatoes. This paper explains the structure and movement of the automatic grade system and applies the algorithm for deformed tomatoes and characteristics of tomatoes through image processing to the grade system.

I. 서 론

과채류의 품질은 과채류의 우수한 정도와 특성을 나타내는 것으로 매우 주관적이며 상품성과 깊은 관계가 있다. 품질평가는 인간의 경험적 판단에 의존한 육안 검사나 표본추출에 의한 파괴검사로 어느 정도 가능하다. 하지만, 육안이나 표본검사는 소비자의 기호도에 큰 영향을 미치는 맛, 신선도, 외관을 고려한 선별 시

전체 개체에 동일하게 적용할 수 없고, 대량의 수확물을 선별할 경우 신선도를 떨어뜨릴 수 있는 단점을 가지고 있다. 따라서, 전체 개체를 비파괴적인 방법으로 정량적으로 정해진 기준에 대해서 균일하게 적용하고 신속한 선별이 요구되었다. 그래서, 80년대 이후 국내 외적으로 자동화와 더불어 비파괴 품질평가 기술개발이 활발히 진행되어 왔다[1]. 최근 과채류의 품질평가는 색, 크기, 무게, 모양, 결함과 같은 외부 요소와 단맛, 신맛, 수분 지질, 내부 결함 등의 내부 요소로 이루어지고 있다. Charge-coupled device(CCD) 카메라를 이용한 크기, 형상, 색, 결함의 외부요소 선별과, 근적외선 분광분석법(near-infrared spectroscopy)을 이용한 당·산도, 수분, 지질 분석 그리고, 내부결함의 판별과 더불어 내부 공동과일 판정에 X-선, 컴퓨터 단층영상법(computed tomography : CT)등이 이용되고 있으며 내부 상태와 완숙도 판정을 위해 자기 공명영상(magnetic resonance imaging : MRI)을 이용하는 연구가 진행되고 있다.

본 논문은 비파괴 장비인 CCD 카메라와 NIR 측정장비를 이용하여 색, 크기, 원형도, 당·산도 등을 얻어 내어 등급을 결정, 자동 분류하는 시스템의 개발과 CCD 카메라에서 얻은 영상에서 기형 토마토의 선택적 분류를 위한 알고리즘의 제시 및 적용에 관한 것이다.

II. 선별시스템의 구성

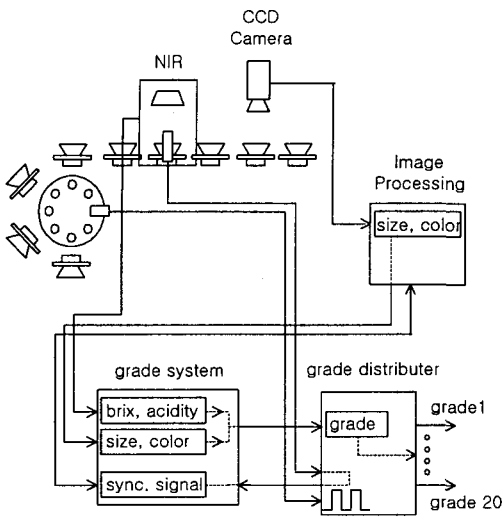


그림 1. 선별시스템의 구성도

선별시스템은 크게 영상처리 시스템, NIR 측정 시스템, 분류시스템으로 나눌 수 있다.

영상처리 시스템은 조명, 광채류의 위치확인용 적외선 센서, CCD 카메라, frame grabber 그리고 영상처리 컴퓨터로 구성되어 있다. 컨베이어 위에 실려 오는 과일 위치가 적외선 센서에서 감지되면 센서에서 신호를 분류 시스템으로 전송한다. 분류 시스템에서 영상 시스템과 동기신호코드를 주고받아 실제 운전 중인 컨베이어 벨트 위의 컵 위치 정보와 영상에 나타나는 컵의 위치를 일치시켜 선별위치를 정확히 한다. CCD 카메라는 동기신호에 따라 1/30초로 shuttering을 하게 된다. 그 과정에서 얻어진 토마토의 아날로그 영상을 PC에 장착된 A/D 변환기인 frame grabber를 거치면서 디지털 정보로 영상처리 컴퓨터에 전송된다. 영상처리를 통해 완숙도 판별을 위한 색상, 기형 유무 판단, 크기 등을 추출, 직렬포트를 통해 분류 시스템에 전송된다.

NIR 측정 시스템은 근적외선 분광분석법을 이용하여 측정, 분석된 당·산도 값을 분류 컴퓨터로 전송한다.

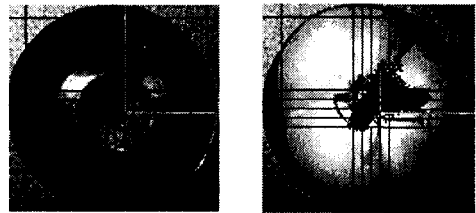
분류시스템은 분류 컴퓨터, 컨베이어 구동부, 분급기로 나눌 수 있다. 영상처리 컴퓨터에서 전송된 색상, 크기, 당·산도 등과 컨베이어에 설치된 적외선 센서에서 전송된 위치정보와 컨베이어 구동부의 모터 측에 장착된 센서에 의해 얻어진 펄스를 이용하여 분류 기준에 따라 정보를 조합하여 등급을 나눈다. 분급기는 분류 컴퓨터에서 수신한 등급정보대로 정해진 위치에 과일이 떨어뜨리고, 등급판정이 안된 토마토는 컨베이어 벨트 마지막 부분에 떨어지도록 한다.

선별 시스템에서 영상처리를 위해 windows 98 OS PC를 사용하였고, 분류를 위해서 실시간 처리가 가능한 OS PC를 사용하였다. 그리고, 분급시스템에서는 통신으로 제어되는 제어보드를 제작하여 이용하였다.

III. 영상 처리

3.1 배경과 토마토 윤곽선 분리

배경에서 물체를 추출하는 과정은 색상차를 이용한다. 일반적으로 과일에서는 blue 성분이 red 성분과 green 성분보다 값이 작고 변화가 적어[2] 배경과 구분하기 위한 threshold값으로 일반적으로 사용한다. threshold값은 그레이 레벨 영상에서는 히스토그램으로 정할 수 있지만, 칼라 영상에서는 RGB 세가지 색상분포를 고려해야 한다.



(a) 컵의 경우 (b) 토마토의 경우

그림 2. 칼라 벡터도

영상처리 컴퓨터에 출력할 영상에는 실물과 같은 색상의 표현이 필요하다. 그래서, RGB 색상값의 합성벡터 분포를 직관적인 색성분의 표현에 유리한 hue-saturation (HS)평면으로 변환하여 사용한다. 그림 2와 같이 물체에 해당하는 벡터 영역을 구하여 threshold값을 정할 수 있다.

배경과 토마토의 구분은 관심영역의 경계 검출과 윤곽선 추적을 통해 이루어진다[3]. 물체를 육안으로 보았을 때 윤곽으로 추출하고 싶은 부분이 농도의 변화량이 적거나 꺾이는 각도가 완만할 경우 깨끗한 윤곽을 추출하기 쉽지 않다. 그래서 sobel, laplacian, prewitt, robert 등의 3x3 경계 검사 필터를 사용하여 보다 분명한 윤곽선을 추출할 수 있다[4].

경계점 좌표를 얻기 위해 폐곡선 형태의 윤곽선 추적(boundary tracking)이 필요하다. 추적 방식에는 그림 3처럼 4, 8, 변형된 8-neighborhood 방식이 있으며 4-neighborhood 방식은 대각선 검색이 용이하지 못하고, 8-neighborhood 방식은 변형된 8-neighborhood 방식보다 긴 검색시간을 가진다[7].

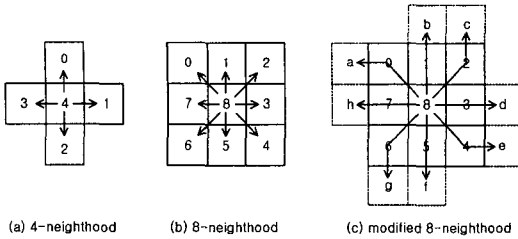


그림 3. 경계추적 벡터와 이동 중심점

검색 윈도우의 중심점이 물체에 위치할 때 그림 3(c)의 방식을 사용하여 빠른 검색이 이루어지도록 하고, 중심점의 위치가 배경일 때 가까운 경계점을 정확하게 찾을 수 있도록 그림 3(b)의 방법을 이용한다.

실제로 배경과 물체의 구분, 윤곽선 추적 과정은 threshold 값을 사용하여 동시에 이루어진다.

3.2 특정 파라메타 추출

윤곽선 추적에 의해 얻어진 경계점 데이터가 구해지면, 등급 결정에 필요한 여러 가지 parameter를 구할 수 있다.

$$C_x = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} P_{xi}, \quad C_y = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} P_{yi}, \quad (1)$$

P : 경계점, n : 경계점의 개수

식(1)의 중심점(Cx, Cy)는 색 측정 시 토마토의 꼭지부분의 제거에 사용된다.

$$L = |\bar{P}_{n-1} - \bar{P}_0| + \sum_{i=0}^{n-1} |\bar{P}_i - \bar{P}_{i-1}| \quad (2)$$

식(2)의 둘레길이 L은 경계 데이터의 저장영역 크기를 설정하는데 사용된다.

$$L_{max} = \max(|\bar{P}_i - \bar{P}_{i-1}|) \quad (3)$$

where $i, j = 0, 1, \dots, n-1$

식(3)의 장축 Lmax는 토마토가 놓인 방향을 확인할 수 있다.

$$S = \sum_{i=0}^{l-1} \sum_{j=0}^{m-1} [P(\max(P_{xj}), P_{yi}) - P(\min(P_{xj}), P_{yi})] \quad (4)$$

l : 영상의 너비, m : 영상의 높이

식(4)의 단면적 S는 토마토의 크기를 결정하는데 사용된다.

$$C_r = \frac{4\pi \cdot \text{area}}{\text{perimeter}^2} = \frac{4\pi^2 r^2}{(2\pi r)^2} \quad (5)$$

r : 원의 반지름

식(5)의 원형도 Cr은 중복탐재나 모양이 토마토의 등근 정도를 판별하는데 사용된다..

3.3 RGB 색상값을 이용한 토마토의 색판정

토마토를 시각적 판단으로 분급한 결과와 영상처리에 의한 분급한 결과는 어느 정도 차이가 있고 조절할 필요가 있다. 60개의 토마토를 시각적 판단에 따라 색깔별로 상, 중, 하 3등급으로 분류하여 영상처리를 이용하여 완숙도 판별한 경우와 비교하면 약 97.5%의 정확성을 보였다. 표 1은 시험자료 일부를 나타낸 것이다. 이 과정에서 분산과 평균을 이용하였고, 색판정에 사용된 식(6)의 K값은 0.8이상 1.7미만은 상등급, 1.7이상 2.6미만 중등급, 2.6이상 3.5미만은 하등급으로 구분하였다.

표 1. 시각색판정과 CCD 색판정의 비교

번호	색판정			번호	색판정			번호	색판정		
	시각	CCD	오류		시각	CCD	오류		시각	CCD	오류
1	상	0.9		11	중	1.8		21	하	2.6	
2	상	1.0		12	중	1.9		22	하	2.9	
3	상	0.8		13	중	1.9		23	하	2.9	
4	상	0.8		14	중	1.8		24	하	2.8	
5	상	1.1		15	중	2.1		25	하	3.1	
6	상	0.9		16	중	2.3		26	하	3.0	
7	상	1.0		17	중	1.9		27	하	2.9	
8	상	1.4		18	중	1.7		28	하	3.0	
9	상	1.1		19	중	2.0		29	하	3.3	
10	상	0.9		20	중	2.0		30	하	2.7	

$$K = a_0 + a_1 R_a + a_2 G_a + a_3 (R - G)_a + a_4 R_r + a_5 G_r + a_6 (R - G)_r \quad (6)$$

$$a_0 = 0, \quad a_1 = -0.08149, \quad a_2 = 0.091535,$$

$$a_3 = 0.070517, \quad a_4 = 0.009118, \quad a_5 = 0.017322,$$

$$a_6 = -0.02991, \quad a_7 = 0.001046$$

3.4 기형 검출방법

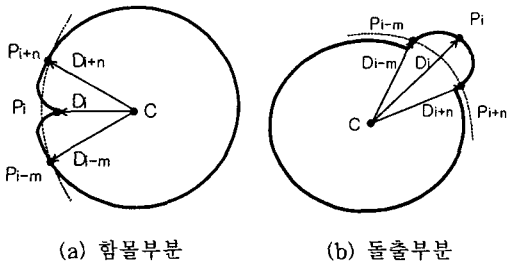


그림 4. 기형 검출 방법

그림 4와 같이 기형 토마토의 검출 방법으로 세 지점의 경계점과 중심 간의 거리를 이용한다. 경계점 P_{i-m} 와 P_{i+n} 는 평균 반지름과 만나는 경계점이며, D_i 는 P_i 와 중심점 C 와의 거리를 나타낸다. 식(7)에서 얻어진 계산값은 평균 반지름보다 작은 경계를 검색할 경우 $Distortion < 0$ 의 값을 가지고, 평균 반지름보다 큰 경계를 검색할 때는 $Distortion > 0$ 의 값을 가진다.

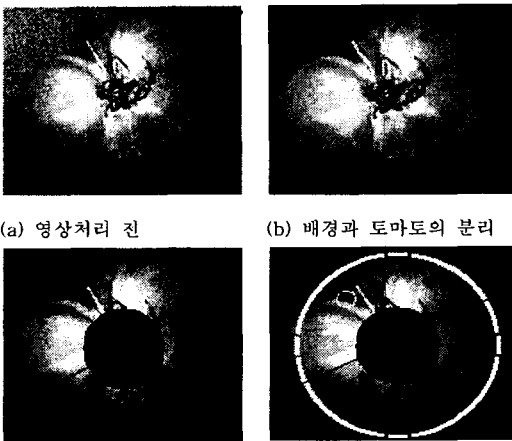
$Distortion$ 값이 왜곡 $threshold$ 값보다 크면 등급 의 로 분류를 한다.

$$Distortion = \left| \frac{D_i - D_{i-m}}{D_{i+n}} \right| \quad (7)$$

$$D_i = distance(center, P_i)$$

$$Distortion \geq Distortion_{th} : \text{기형}$$

3.5 영상처리 결과



(a) 영상처리 전 (b) 배경과 토마토의 분리 (c) 꼭지제거 및 장축그리기 (d) 기형판별

그림 5. 영상처리 결과

그림 5는 영상처리 결과로 CCD 카메라에서 얻은 그림 5(a)를 윤곽선 추적을 통해 경계 데이터를 얻어

그림 5(b)와 같이 배경과 토마토를 구별시켰다. 그림 5(c)는 색을 얻기 위해 꼭지부분을 제거한 것이고, 그림 5(d)는 제안된 방법으로 굴곡을 찾은 영상이다. 평균 반지름=65 [pixel], $Distortion_{th} \geq 0.2$ 로 함몰 부분을 찾도록 설정하였다.

IV. 결 론

본 논문은 균일한 품질평가 기준 적용, 선별기 시간 단축과 토마토의 상품성을 높이기 위해서 CCD 카메라와 NIR 분광분석법을 이용한 토마토 자동 선별기 개발과 CCD 카메라에서 얻은 영상에서 기형 토마토 선별을 위한 알고리즘을 제시 및 적용 하였다.

향후 병해충 및 취급 시 부주의에 의한 외피의 상처 판별 알고리즘의 추가와 내부 품질 정보와의 결합을 통해 개선된 비파괴 검사 시스템의 개발이 정확한 선별에 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 최규홍, 이강진, 최동수, 박보순, "컬러 영상처리를 이용한 사과 결점 판정," 한국농업기계학회 동계 학술대회, vol.4(1), pp. 91-241, 1999.
- [2] G. Kay and G. D. Janger, "A versatile colour system capable of fruit sorting and accurate object classification," *Proc. COMSIG'92*, pp. 145-148, 1992.
- [3] 박원우, 최주호, 유준, "윤곽선 기반의 이격거리 영상해석 기법" *Proc. of the 13th KACC*, pp. 1853-1856, 1998.
- [4] R. M. Haralick, L. G. Shapiro, *Computer and robot vision volume I*, Addison Wesley, 1992.
- [5] F. V. D. Heilden, *Image based measurement systems*, John Wiley & Sons, 1994
- [6] D. K. Lim and Y. S. Ho, "Image segmentation using hierarchical meshes," *Proc. of the ICIP 99*, vol. 1, pp. 6-10, 1999
- [7] Y. H. Choi and W. H. Kwon, "Citrus sorting system with a color image boundary tracking," 한국센서학회지 제11권 제2호, 3, 2002