

통계적 영상처리를 이용한 과일 선별시스템 개발*

임 동 훈¹⁾

요약

본 논문은 통계적 영상처리를 이용하여 과일 선별 시스템을 개발하고자 한다. 히스토그램으로 부터 과일 영상의 색깔에 대한 분포를 파악하고 이표본 위치문제에서 Wilcoxon 검정을 이용하여 에지를 검출한다. 체인코드로 부터 과일 영상의 면적, 둘레, 장·단축의 길이와 원형도 등 기하학적 특성값을 얻는다.

우리는 과일에 대한 영상실험을 통하여 통계적 에지검출 방법에 토대를 둔 시스템과 기존의 Sobel 연산자에 토대를 둔 시스템과의 비교 분석한다.

주요용어: 과일선별시스템; 에지검출; Wilcoxon 검정; Sobel 연산자; 체인코드

1. 서론

노동집약적인 원예 농업 중에서 가장 많은 노동력을 필요로 하는 작업은 수확된 농산물을 선별하는 작업이다. 특히, 국내의 주요 과일인 사과나 배의 경우 그 가격은 선별작업의 결과에 따라 상당히 큰 폭의 차이가 있으므로 농산물 선별에 대한 중요성은 매우 강조되고 있다.

그러나, 우리나라의 경우 과일의 선별은 특별한 장치나 도구 없이 거의 대부분 육안 판별을 통한 인력에 의존하고 있는 실정으로 선별을 위한 경비는 과일 생산비의 상당부분을 차지하고 있다.

최근 컴퓨터를 이용한 영상처리 등장으로 공산품의 검사나 판별 작업에 광범위하게 이용되고 있으며 농업분야에서도 이를 이용한 연구가 다방면에서 이뤄지고 있다.

Sakar 와 Wolfe(1985)은 흑백영상처리 시스템을 이용하여 토마토의 형상, 크기, 색깔, 흠집 등을 조사하는 알고리즘에 대해 연구하였고 Rehkugler 와 Throop(1986)은 영상처리를 이용하여 사과 표면의 흠집의 수와 면적을 구하는 알고리즘을 제시하였다. 그리고 Miller 와 Delwiche(1989)는 컬러영상처리 시스템을 이용하여 복숭아의 색깔을 판정하는 알고리즘을 개발하였다. 국내에서는 노상하 등(1990), 노상하 등(1991)은 영상처리시스템을 이용하여 과일의 기하학적 특성과 결점검출 알고리즘을 개발하였으며 서상룡 과 성제훈(1997)은 컴퓨터 비전을 이용하여 사과의 결점을 검출하려고 시도하였다.

본 연구는 최근에 급속도로 발전되고 있는 영상처리를 이용한 과일 선별 장치와 관련된 기초 자료를 제공하기 위해 통계적 방법에 기초한 영상처리 시스템을 개발하고자 한

* 이 논문은 2001년도 한국 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2001-002-D00053)

1) (660-701) 경남 진주시 가좌동 900, 경상대학교 통계정보학과 부교수 / 컴퓨터 정보통신 연구원

E-mail : dhlhm@nongae.gsnu.ac.kr

다. 이를 위해 먼저 CCD 카메라로부터 과일 영상을 획득하고 획득한 영상에 대해 히스토그램을 작성하여 과일 색에 대한 분포를 파악한다. 그리고 과일의 기하학적인 특성을 규명하기 위해 이표본 위치문제(two-sample location problem)에서 Wilcoxon 검정을 적용하여 에지(edge)를 검출하고 검출된 에지로부터 체인코드(chain code)를 이용하여 과일의 면적, 둘레, 장·단축의 길이와 원형도(roundness)를 계산한다.

영상에서 에지는 명암값(gray level)이 급격하게 변화하는 경계를 일컫는데 정확한 에지를 검출함으로써 물체의 크기 및 형상 인식을 용이하게 할 수 있다. 지금까지 과일선별에 적용된 에지검출방법으로는 주로 Sobel 연산자를 이용한 수학적 방법이 사용되었으나 수직·수평에지들로 구성된 간단한 영상에서는 잘 수행되나 다양한 에지들로 이루어진 복잡한 영상에 대해서는 에지정보가 소실됨을 알 수 있다. 우리는 임동훈 과 박은희(2001), Bovik, Huang 와 Munson(1986), Lim 과 Jang(2002)에서 처럼 인접한 영역간의 차이에 대해 Wilcoxon 검정을 이용하여 수평, 수직방향외에 45°, 135° 대각선 방향의 에지를 검출한다.

우리는 과일 선별을 위한 영상실험을 통하여 얻은 기하학적인 특성값을 가지고 통계적 에지 검출 방법에 토대를 둔 영상처리 시스템과 기존의 Sobel 연산자에 토대를 둔 시스템과 비교 분석하고자 한다.

2. 영상처리 시스템

2.1. 영상획득 (Image Acquisition)

그림 1에서 보는 바와 같이 과일류에 대한 영상 입력장치로는 출력신호가 NTSC (National Television System Committee) 컬러 CCD 카메라 (Panasonic WV-CP464)와 16mm 표준렌즈를 사용하였다. 카메라의 출력정보는 각 픽셀의 R(red), G(green), B(blue)신호이다.

그리고 입력된 아날로그 영상을 디지털 영상으로 변환시키기 위한 프레임 그래버는 Matrox사의 Meteor-II이고 비주얼 C++ 6.0에서 이미지 라이브러리인 Mil-Lite를 사용하였다.

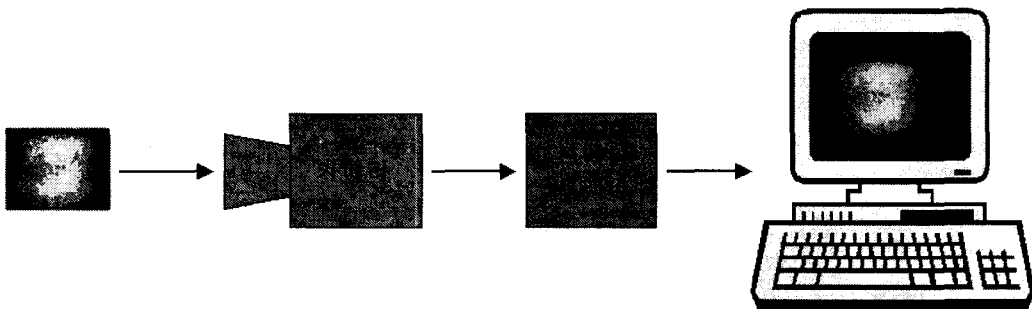


그림 1. 영상획득과정

2.2. 히스토그램 (Histogram)

영상에서 히스토그램은 픽셀이 가진 명암값을 막대그래프로 표현한 것이며 픽셀이 가질 수 있는 명암값을 x 축상에, 각 명암값이 가진 빈도수는 y 축상에 나타낸다. 영상에서 히스토그램은 다음과 같이 이산함수로 정의된다.

$$p_r(\gamma_k) = \frac{n_k}{T}, \quad k = 0, 1, \dots, L - 1.$$

여기서 γ_k 는 k 번째 명암값이고 n_k 는 픽셀중에서 명암값 γ_k 인 픽셀 수이고 T 은 전체 영상의 픽셀 수이다. L 은 각 컬러에 대해 8비트 영상인 경우 256을 나타낸다. 히스토그램으로부터 영상의 구성 즉, 명암 대비 및 명암값 분포에 대한 정보를 얻는다. 어떤 명암값을 가진 픽셀이 어느 위치에 있는가에 대한 공간적 정보는 알 수 없으나 히스토그램을 이용한 형상 분석(shape analysis)와 영상분할(image segmentation)을 통하여 영상의 특징들을 간략화함으로써 가시적으로 영상들을 비교 할 수 있다.(Jain(1989)).

또한 히스토그램은 영상의 전처리 과정에서 중요한 입력된 영상에서 물체와 배경을 구분하는데 임계값 선택 기준을 제공한다. 히스토그램이 쌍봉우리 형태를 가지고 있는 경우 골 부분을 구함으로써 임계값을 쉽게 결정할 수 있다.

2.3. 에지 검출 (Edge Detection)

과일 영상의 기하학적인 특성을 얻기 위한 전단계로서 에지검출은 컬러영상의 R, G, B 상에서 검출된 에지가 흑백영상에서도 대부분 검출되기 때문에 시스템의 수행속도를 향상 시키기 위해 흑백영상하에서 에지를 검출하고자 한다.

임의의 픽셀의 에지 존재 여부는 인접한 두 개의 $n \times n$ 정방형 근방영역간의 명암값들의 변화를 조사함으로써 결정하고자 한다. 여기서 n 은 홀수이다. 그림 2는 $n = 3$ 인 경우 서로 다른 4 방향 수평, 수직, 45° 그리고 135° 방향에지를 검출하기 위한 3×3 정방형 근방영역이다. 짙은 검은색 픽셀이 관심이 있는 중심픽셀이다.

본 절에서는 그림 2 (a)의 수직방향의 에지검출에 대해 설명하였으며 최종적인 에지는 각 방향의 에지들의 "OR"로서 결정한다. 왼쪽 근방영역 $N_L = (X_1, \dots, X_N)$ 에 속하는 명암값 과 오른쪽 근방영역 $N_R = (X_{N+1}, \dots, X_{2N})$ 에 속하는 명암값들은 각각 연속분포 $F_1(x) = F(x - \mu_1)$ 과 $F_2(x) = F(x - \mu_2)$ 로부터 확률표본이라 하자. 여기서 $N = n^2$ 이고 μ_1, μ_2 들은 이동모수이다.

에지-높이 모수(edge-height parameter) δ 를 사용한 에지 모형은 다음과 같이 표현한다.

$$A_i = \begin{cases} X_i + \delta ; & X_i \in N_L \\ X_i & ; X_i \in N_R \end{cases} \quad B_i = \begin{cases} X_i - \delta ; & X_i \in N_L \\ X_i & ; X_i \in N_R. \end{cases}$$

여기서 δ 는 두 영역간 명암값의 차이가 뚜렷하지 않는 경우 에지로 잘못 판정하는 것을 막기 위해 사용되는 모수이다. 두 영역의 차이를 검정하기 위한 수정된 명암값에 대해 다음과 같이 가설을 세운다.

$$H_0 : |\mu_1 - \mu_2| \leq \delta \quad \text{versus} \quad H_1 : |\mu_1 - \mu_2| > \delta. \quad (2.1)$$

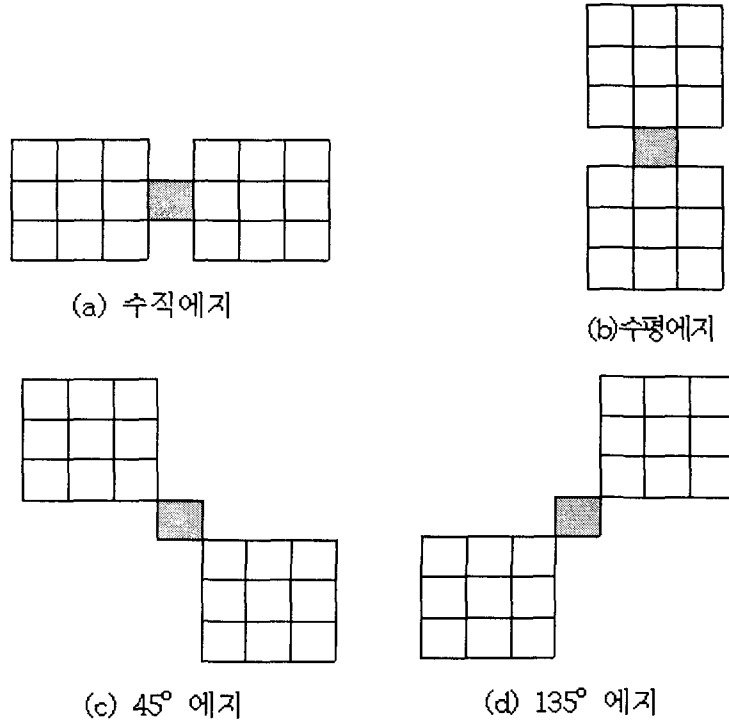


그림 2. 4가지 방향의 에지를 검출하기 위한 인접한 3×3 정방근방영역

δ - 에지 모형하에서 (2.1)가설을 검정하기 위해 먼저 가정 $\mu_1 < \mu_2$ 하에 H_1 에 대한 검정법을 생각하자. R_i 를 A_i 의 순위라 할 때 검정 통계량은 다음과 같다.

$$W_A = \sum_{i=1}^{2N} R_i I_{A_i},$$

여기서

$$I_{A_i} = \begin{cases} 0, & \text{if } A_i \in \{A_1, \dots, A_N\} \\ 1, & \text{if } A_i \in \{A_{N+1}, \dots, A_{2N}\}. \end{cases}$$

이다. 다음으로 가정 $\mu_1 > \mu_2$ 하에 H_1 에 대한 검정법으로 S_i 를 B_i 의 순위라 할 때 검정 통계량은 다음과 같다.

$$W_B = \sum_{i=1}^{2N} S_i I_{B_i},$$

여기서

$$I_{B_i} = \begin{cases} 1, & \text{if } B_i \in \{B_1, \dots, B_N\} \\ 0, & \text{if } B_i \in \{B_{N+1}, \dots, B_{2N}\} \end{cases}$$

이다. 따라서, 가설(2.1)을 검정하기 위한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$W^* = \max(W_A, W_B).$$

이다. N 이 크면

$$Z_{W^*} = \frac{W^* - E(W^*)}{\sqrt{Var(W^*)}}$$

은 표준 정규 분포를 따른다. 여기서 $E(W^*) = N(2N + 1)/2$, $Var(W^*) = N^2(2N + 1)/12$ 이다. 검정통계량 W^* 혹은 Z_{W^*} 가 임계값 보다 크면 에지가 존재한다고 판정한다. 참고로, 순위부여시 동점이 있는 경우 평균순위를 사용하며 대표본 근사를 사용할 경우 $Var(W^*)$ 는 다음과 같이 수정하여 사용한다.

$$Var(W^*) = \frac{N^2}{12} [2N + 1 - \frac{\sum_{j=1}^q t_j(t_j^2 - 1)}{(2N)(2N - 1)}],$$

여기서 q 는 동점그룹의 수이고 t_j 는 j 번째 동점그룹의 크기이다.

2.4. 체인코드(Chain Code)

Freeman(1961)의 체인코드는 영상에서 물체의 경계(boundary)를 미리 정한 길이와 방향을 갖고있는 4-연결(4-connectivity) 또는 8-연결(8-connectivity)된 선들로 표현한다. 경계선 추적에 의하여 구해진 연결 성분의 경계선으로부터 그 물체의 기하학적 특징인 면적, 둘레, 형태 등의 정보를 얻을 수 있다. 8-연결인 경우 방향을 숫자로 표시된 8-방향 체인코드를 구하는 대표적인 알고리즘은 다음과 같다. 처음에 명암값이 0인 오른쪽상단의 픽셀을 추적 개시점 P_1 으로 선택한다. 다음에 P_1 을 중심으로 P_1 의 8-연결을 그림 3에서 나타내는 것과 같이 반시계 방향으로 조사해 명암값이 0인 픽셀 P_2 을 찾는다. 다음, 픽셀 P_1 에서 P_2 로 이동하여 P_2 에 대하여 같은 탐색을 하여 P_3 을 얻는다. 이 처리를 반복하여 $P_n = P_1$ 인 경우 처리를 종료하여 픽셀 P_1 에서 P_{n-1} 까지의 픽셀 열을 경계선으로 한다.

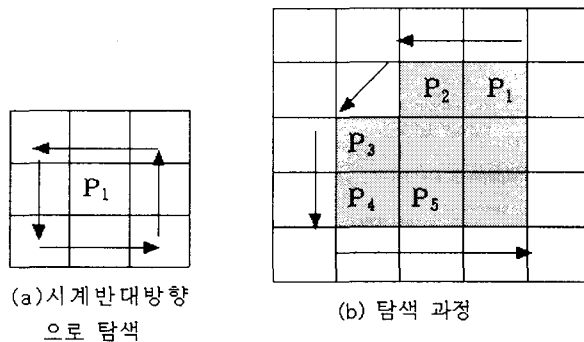


그림 3. 8-연결 경계선 추적 과정

그림 4의 (a)는 8-방향의 체인코드의 방향이고 (b)는 체인코드로 도형의 경계선을 추적해 가는 모습을 보여주고 있다. 8-방향 체인코드는 서쪽은 1, 서남쪽은 2, 남쪽은 3... 등과 같이 정하고 8-연결로 연결된 픽셀 경계선을 표현한다. 그림 4(b)의 경계선에 대한 체인코드는 3 4 3 4 5 5 6 6 7 7 8 8 1 1 2 2 로 표현된다.

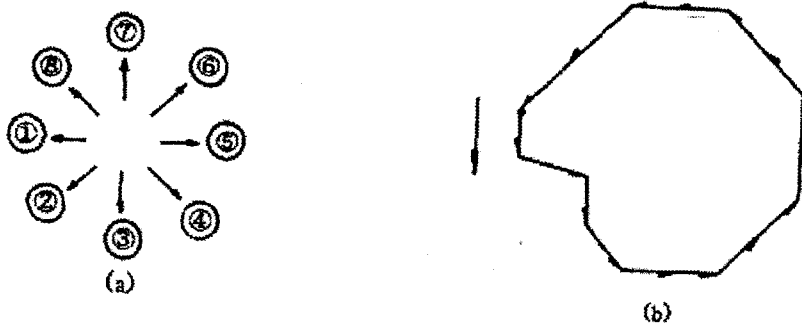


그림 4. (a) 8-방향 체인코드 (b) 8-방향 체인코드로 표시된 경계선

2.5. 기하학적 특성계산

영상처리를 이용하여 물체의 형태를 나타내는 특성에 대하여 설명하고자 한다.

(1) 면적

물체에 포함되어 있는 모든 픽셀 수를 계산한다.

(2) 둘레

그림 4의 8-방향의 체인코드를 이용하여 둘레를 구하는 경우 고려해야 할 부분은 대각선으로 이동하는 2, 4, 6, 8이다. 1, 3, 5, 7번은 수직과 수평이므로 1 픽셀이지만 2, 4, 6, 8번은 대각선의 길이이므로 픽셀 $\sqrt{2}$ 이 되도록 보정을 할 필요가 있다.

(3) 장·단축의 길이

사과와 같이 투영도의 경계선이 타원체인 경우 장·단축의 길이를 구하기 위해 먼저 투영도의 중심을 구한다. 8-방향의 체인코드에 의해 경계선에 해당되는 픽셀의 좌표를 (u_i, v_j) 라 하고 경계선에 있는 픽셀의 수를 ℓ 이라 할 때 중심좌표는 $(\sum_{i=1}^{\ell} u_i/\ell, \sum_{j=1}^{\ell} v_j/\ell)$ 이다.

경계선에 있는 임의의 픽셀 (u_i, v_j) 에서 중심을 지나 반대쪽에 위치한 픽셀을 (u'_i, v'_j) 라 할 때 두 픽셀 사이 거리는 다음과 같다.

$$L_{ij} = \sqrt{(u_i - u'_i)^2 + (v_j - v'_j)^2}, \quad i, j = 1, \dots, \ell$$

이다. 따라서 장축의 길이 $L_{max} = \max\{L_{ij}\}$ 이고 단축의 길이 $L_{min} = \min\{L_{ij}\}$ 이다.

(4) 원형도

외관상 정상인 과일의 분별은 투영도의 원형도와 장·단축의 비를 가지고 할 수 있다. 원형도 R 은 다음과 같다.

$$R = \frac{4\pi A}{p^2}$$

여기서 A 는 면적, p 는 둘레를 나타낸다. 도형이 원인 경우는 R 값은 1이되고 원에 가까울수록 1에 접근한다. 또한 장·단축의 비는 원형에 가까울수록 1이되고 기형일수록 1보다 크게 된다.

3. 실험결과와 논의사항

우리는 CCD카메라로부터 얻은 그림 5의 사과 표본영상에 대해 그림 6과 같이 R, G, B 3가지의 신호상에서 히스토그램을 얻었다. 미리 표준으로 정해진 기준 영상에 대한 히스토그램과 선별을 원하는 사과 영상에 대한 히스토그램과 비교함으로써 가시적으로 과일을 선별 할 수 있다.

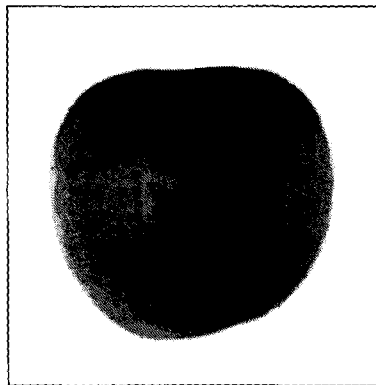


그림 5. 표본 영상

다음은 노상하 등(1990), 노상하 등(1991) 등의 영상처리 시스템에서 주로 사용되는 Sobel 연산자를 이용한 에지검출방법에 대해 논하고자 한다.

$g_u(u, v)$ 와 $g_v(u, v)$ 를 위치 (u, v) 에서 영상 $f(x, y)$ 의 u 와 v 방향에서 미분값이라 할 때 마스크 h_u, h_v 에 대하여 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} g_u(u, v) &= h_u * f(u, v), \\ g_v(u, v) &= h_v * f(u, v), \end{aligned}$$

여기서 * 는 컨벌루션(convolution)을 나타내고 마스크들은 다음과 같다.

$$h_u = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad h_v = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

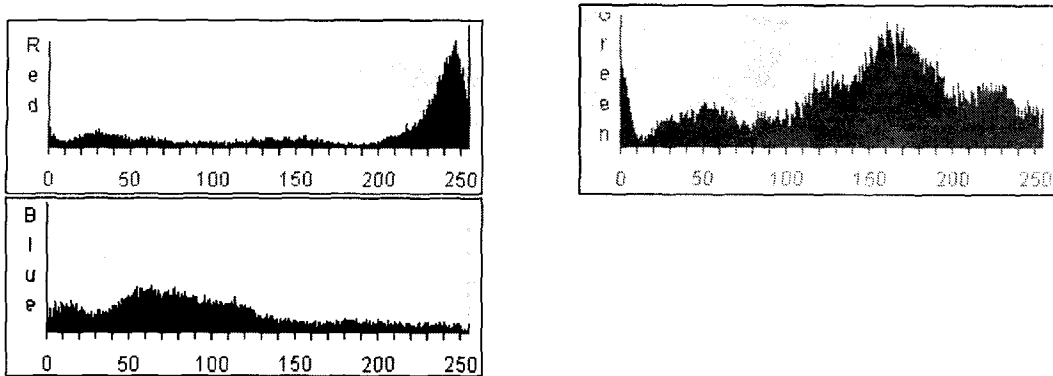


그림 6. R, G, B 상에서 표본영상에 대한 히스토그램

그러면, 그래디언트(gradient) 크기는

$$g(u, v) = \sqrt{g_u^2(u, v) + g_v^2(u, v)}$$

이다. $g(u, v)$ 가 임계값보다 크면 픽셀 (u, v) 는 에지를 갖고 있다.

우리는 그림5의 원영상에 대해 Sobel 연산자와 Wilcoxon 검정을 사용하여 에지를 검출하였다(그림 7 (a)와 (c)). Sobel 연산자에서는 임계값 50을 사용하였고 Wilcoxon 검정에서는 에지높이 $\delta = 20$ 이고 유의수준 0.05에서 검출하였다. 여기서 Sobel 연산자에서 임계값이 작을 수록 그리고 Wilcoxon 검정에서 에지높이가 낮을수록 에지가 두껍게 검출된다. 그러나 잡음이 포함된 잡음영상인 경우 잡음과 에지 구별이 쉽지 않다. 일반적으로 에지높이는 적용되는 영상에 따라 시행착오를 통하여 다르게 선택된다. 그림 7의 (b)와 (d)는 각각 (a)와 (c)에 체인코드를 적용하여 얻은 경계선들이다. (b)는 경계선상에 많은 요철이 있는 반면에 (d)는 경계선이 매끄러움 보여주고 있다. 이것은 Sobel 방법은 수평과 수직 방향에 지 검출만을 고려한 반면 제안된 통계적 방법은 수평·수직방향을 포함한 대각선 방향의 에지까지 고려하여 설계했기 때문이다.

우리는 개발된 시스템의 검증을 위해 표 1에서와 같이 지름이 7.5cm인 원을 입력하고 Sobel연산자와 Wilcoxon 검정을 이용하여 에지를 검출하고 체인코드로부터 2.5절에서 논의한 면적, 둘레, 장·단축의 길이와 원형도를 계산하였다. Sobel 연산자를 이용하는 경우 Wilcoxon 검정에 비해 둘레가 길고 장·단축의 길이 차이가 크게 나타나고 원형도가 0.565로 원보다 타원에 가까운 현상을 보여주는 반면에 Wilcoxon 검정을 이용하여 개발한 시스템은 원형도가 0.907로 원형에 가까운 형태로 분별하고 있다. 이런 현상은 Sobel 연산자는 수평과 수직 에지검출에 잘 수행되나 대각선 방향의 에지에 덜 민감함으로서 생긴 경계선상에 요철 때문에 실제 영상의 둘레보다 훨씬 길게 계산되기 때문이다.

표 2는 그림 5의 표본영상에 대해서 기하학적인 특성값을 계산한 결과이다. 표 1과 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

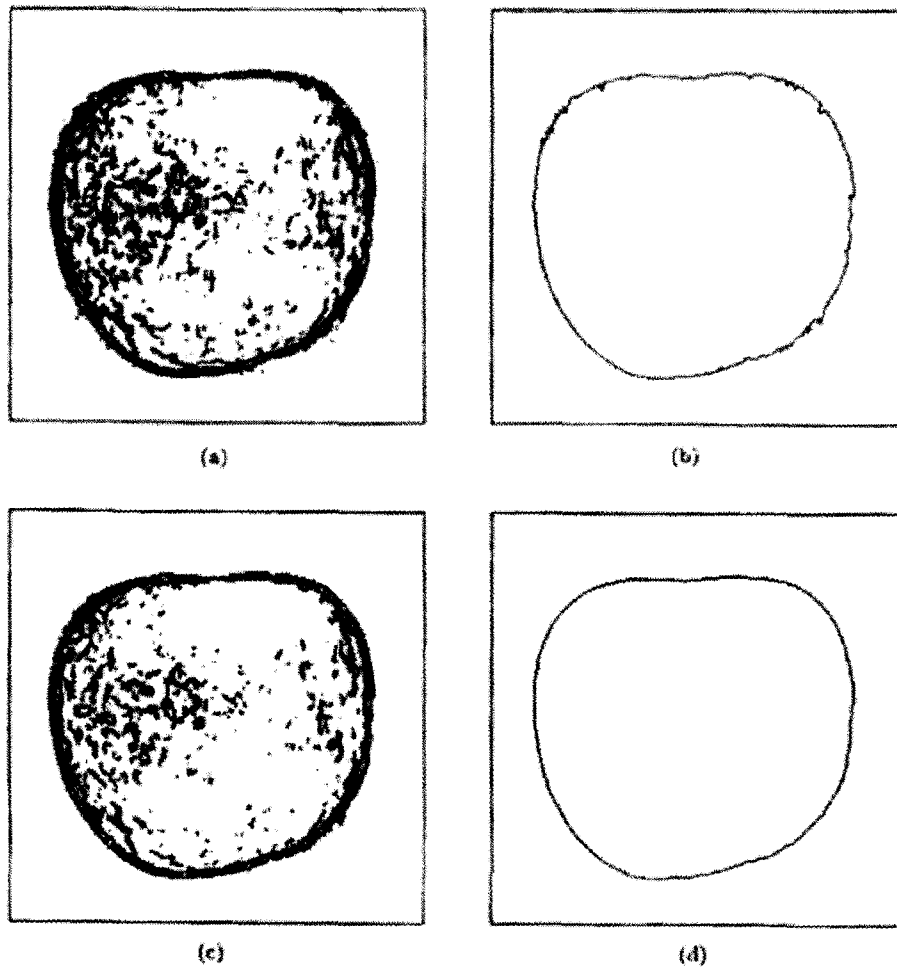


그림 7. (a)는 Sobel 연산자를 이용한 에지 검출 영상이고 (b)는 (a)에 체인코드를 적용하여 얻은 경계선이고 (c)는 Wilcoxon 검정을 이용한 에지 검출 영상이고 (d)는 (c)에 체인코드를 적용하여 얻은 경계선이다.

표 1. 지름이 7.5cm인 원에 대한 기하학적인 특성값

에지검출	면적	둘레	장·단축의 길이	원형도
Sobel 연산자	37165	909.08	$L_{max}=217.52, L_{min}=212.00$	0.565
Wilcoxon 검정	37228	718.09	$L_{max}=217.83, L_{min}=215.23$	0.907

표 2. 표본 영상에 대한 기하학적인 특성값

에지검출	면적	둘레	장·단축의 길이	원형도
Sobel 연산자	31404	772.67	$L_{max}=210.28, L_{min}=184.82$	0.661
Wilcoxon 검정	31394	663.49	$L_{max}=208.74, L_{min}=183.17$	0.896

참고문헌

- [1] 노상하, 유관희, 김일웅.(1990). 화상처리시스템을 이용한 과일의 기하학적 특성 측정, 한국농업기계학회지 15(1), 23- 32.
- [2] 노상하, 유관희, 김성민.(1991). 영상처리장치를 이용한 사과색의 선택 판정, 한국농업기계학회지 16(3), 272-280.
- [3] 서상룡, 성제훈.(1997). 컴퓨터 시각에 의한 사과 결점 검출, 한국농업기계학회지 22(2), 217-226.
- [4] 임동훈, 박은희.(2001). 잡음영상에서 에지검출을 위한 이표본 검정법, 응용통계연구 14(1), 149-160.
- [5] Bovik, A. C., Huang, J. S. and Munson, D. C. (1986). Nonparametric Tests for Edge in Noise. *Pattern Recognition* 19(3), 209-219.
- [6] Freeman, H.(1961). On the encoding of arbitrary geometric configurations. Institute of Radio Engineers, Transactions on Electronic Computers, EC10:260-8.
- [7] Jain, A. K.(1989). *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice-Hall International Inc.
- [8] Lim, D. H. and Jang, S. S.(2002). Comparison of Two-sample Tests for Edge Detection in Noisy Images. *Journal of the Royal Statistical Society Series D-The Statistician*. 51(1), 21-30.
- [9] Miller, B.K. and Delwiche, M.J.(1989). A Color Vision System for Peach Grading. *Trans. ASAE*, 32(4), 1484-1490.
- [10] Sakar, N. and Wolfe, R.R.(1985). Computer Vision Based System for Quality Separation of Fresh Market Tomatoes. *Trans. ASAE*. 28(5), 1714-1718.

- [11] Rehkugler, G.E. and Throop, J.A.(1986). Apple Sorting with Machine Vision. *Trans. ASAE*. 29(5), 1388-1397.

[2002년 7월 접수, 2002년 12월 채택]

Development of a Fruit Sorting System using Statistical Image Processing*

Dong Hoon Lim¹⁾

ABSTRACT

This study was to develop a fruit sorting system using statistical image processing. Histogram was used to compare fruit colors to standard fruit color and edge detector using Wilcoxon test was used to calculate an accurate geometrical characteristics of fruit including perimeter, area, major axis and minor axis length and roundness. The experimental result obtained from using our system for sorting apples was presented.

Keywords: Fruit sorting system; Edge detection; Wilcoxon test; Sobel operator; Chain code.

* This work was supported by Korean Research Foundation Grant. (KRF-2001-002-D00053)

1) Associate Professor, Department of Information Statistics and Research Institute of Computer and Information Communication, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea
E-mail : dhlim@nongae.gsnu.ac.kr