

Development of Apple Color Grading System by Statistical Color Image Processing¹⁾

Dong Hoon Lim²⁾

Abstract

This study was to develop a system for grading apples by their color using statistical image processing. T -test was used to detect edges in apple images and the chain code method was used for contour coding. The histogram and mean gray level of each RGB channel in a ring-shaped region was used to compare apple colors to reference apple color.

Keywords : apple grading, image processing, edge detection, T -test, chain code

1. 서론

노동 집약적인 과수 농업중에서 많은 노동력을 필요로 하는 작업의 하나는 수확된 과일의 선별 작업이다. 현재 실용화되고 있는 대부분 과일 선별기는 크기와 무게만을 고려하여 선별됨으로 과일 선별의 주요 인자인 색깔과 손상 등이 기계적 선별 과정에서 고려되지 못하는 문제점이 있다.

사과 선별에 있어 표면 색깔은 사과 크기와 무게 못지 않게 매우 중요한 인자이나 관련 기계의 미개발로 인하여 지금까지 주로 육안에 의존하여 사과 색깔을 식별하고 있는 실정이다.

최근 컴퓨터를 이용한 영상처리 기술이 등장으로 농산물의 선별작업에도 영상처리를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Sakar 와 Wolfe(1985)은 토마토의 형상, 크기, 색깔, 흠집 등을 조사하는 알고리즘에 대해 연구하였고 Rehkugler 와 Throop(1986)은 영상처리에 의한 사과 선별을 시도하였고 Miller 와 Delwiche(1989)는 복숭아의 색깔을 판정하는 알고리즘을 개발하였다. 국내에서는 노상하 등(1991), 손재룡(1995), 서상룡과 성제훈(1997) 등에 의해 영상처리를 이용하여 사과의 크기와 색깔을 구별하는 알고리즘을 개발하였으나 주로 흑백영상에서 수학적 방법에 기초한 선별시스템에 대해 논의하였다.

본 연구는 통계적 방법에 토대를 둔 컬러영상처리를 이용하여 색깔에 의해 사과를 선별하는 시스템을 개발하기 위한 기초자료로서 제공하고자 한다. 이를 위해 먼저 CCD 카메라로부터 과일 영상을 획득하고 획득한 영상에 대해 T -검정을 적용하여 에지(edge)를 검출한다. 지금까지 주로

1) This work was supported by Korean Research Foundation Grant(KRF-2002-002-C00020)

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

에지검출(edge detection)에 사용된 미분연산자를 이용한 수학적 방법은 결점이 있는 경우 에지정보가 소실되는 경향을 갖고 있다. 우리는 Bovik, Huang 과 Munson(1986), Lim 과 Jang(2002), 임동훈(2003)처럼 통계적인 에지검출을 사용하여 다양한 방향의 에지를 검출함으로써 사과 형상인식을 용이하게 한다. 검출된 에지로부터 체인코드(chain code)를 이용하여 사과 영상의 경계선(boundary)과 환상대 영역(ring-shaped region)을 구한다. 우리는 이 영역으로부터 R(Red), G(Green), B(Blue) 채널상에서 히스토그램(histogram)과 평균 명암값(mean gray level)을 구하여 사과 영상을 색깔에 의해 분류한다.

2. 색 선별 시스템

2.1 에지검출

우리는 그림 1과 같이 인접한 2 개의 $n \times n$ 정방형 근방영역간 명암값들의 차이를 조사함으로써 에지를 검출하고자 한다. 여기서 n 의 크기는 너무 작으면 잡음에 민감하고 너무 크면 에지가 소실됨으로 가능한 에지와 잡음을 구별할 수 있도록 영상에 따라 정해준다. 그림 1은 $n=3$ 인 경우 8 가지 방향 에지를 검출하기 위한 3×3 정방형 근방영역이고 짙은 검은색 픽셀이 에지 가능성 여부를 조사할 관심 있는 픽셀이다.

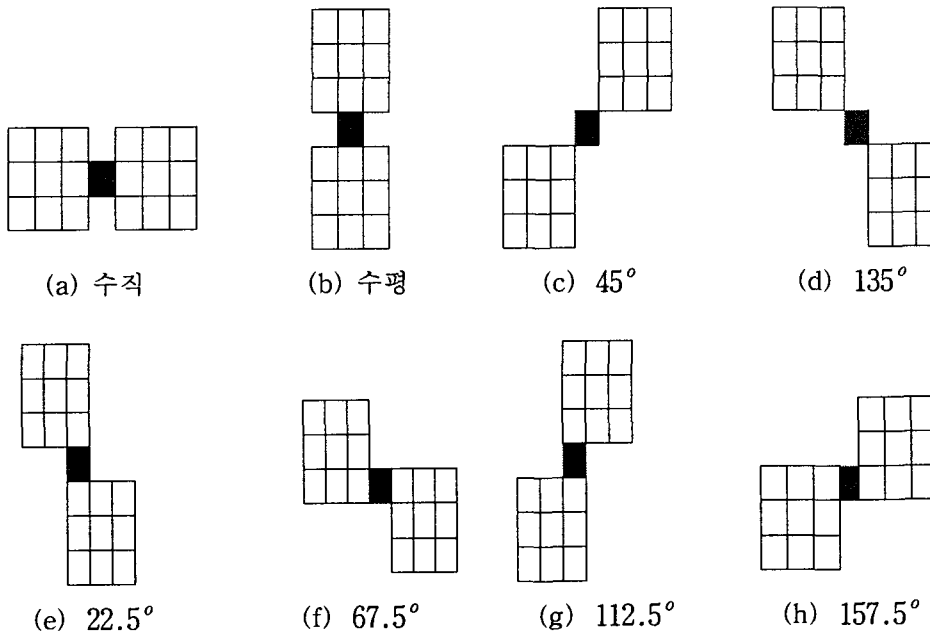


그림 1. 8 가지 방향 에지를 검출하기 위한 인접한 3×3 정방형 근방영역

본 논문에서는 그림 1(a)의 수직방향의 에지 검출만을 위한 검정통계량을 유도하고 최종적으로 임의의 픽셀이 에지 여부는 각 방향의 에지 여부를 조사하여 최소한 한 방향의 에지이면 그 픽셀은 에지로 결정한다. 왼쪽 근방영역 $N_L = (X_1, \dots, X_N)$ 에 속하는 명암값과 오른쪽 근방영역 $N_R = (X_{N+1}, \dots, X_{2N})$ 에 속하는 명암값들은 각각 정규분포 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 와 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 로부터 확률표

본이라 하자. 여기서 $N=n^2$, μ_1 과 μ_2 는 평균 그리고 분산 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ 라고 가정한다.

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

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

여기서 δ 는 두 영역간 명암값의 차이가 뚜렷하지 않는 경우 에지로 잘못 판정하는 것을 막기 위해 사용되는 모수이다. 두 영역의 차이를 검정하기 위한 수정된 명암값 $\{A_i\}, \{B_i\}$ 에 대해 다음과 같이 가설을 세운다.

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

δ -에지 모형하에서 H_0 을 검정하기 위해 먼저 가정 $\mu_1 < \mu_2$ 하에 H_0 을 검정하기 위한 검정통계량은 다음과 같다.

$$T_A = \frac{(\bar{X}_R - \bar{X}_L) - \delta}{S_p[2/N]^{1/2}},$$

여기서

$$\bar{X}_L = \sum_{i=1}^N X_i / N, \quad \bar{X}_R = \sum_{i=N+1}^{2N} X_i / N,$$

$$S_p^2 = \left\{ \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_L)^2 + \sum_{i=N+1}^{2N} (X_i - \bar{X}_R)^2 \right\} / (2N - 2)$$

이다. 다음으로 가정 $\mu_1 > \mu_2$ 하에 H_0 을 검정하기 위한 검정통계량은 다음과 같다.

$$T_B = \frac{(\bar{X}_L - \bar{X}_R) - \delta}{S_p[2/N]^{1/2}}.$$

따라서, 우리는 검정 통계량

$$T^* = \max(T_A, T_B)$$

의 값이 크면 H_0 을 기각한다.

유의수준 α 에서 T^* 은 자유도 $2N-2$ 를 갖는 t -분포의 임계값 $t_{\alpha/2}(2N-2)$ 보다 크면 H_0 를 기각한다. 여기서, $t_{\alpha/2}(2N-2)$ 은 $P(T^* > t_{\alpha/2}(2N-2)) = \alpha/2$ 을 만족하는 임계값이다. 참고로, $\delta=0$ 인 경우 T^* 은 5×5 윈도우를 2 개의 부분영역으로 분할하여 에지를 검출한 Fesharaki와 Hellestrand(1994)의 통계량과 같다.

2.2 체인코드

Freeman(1961)의 체인코드는 물체의 경계선을 미리 정한 길이와 방향을 가지는 직선 선분들의 연결된 열로서 표현한다. 8-연결(8-connectivity)인 경우 방향을 숫자로 표시된 8-방향 체인코드를 구하는 대표적인 알고리즘은 다음과 같다. 처음에 명암값이 0인 오른쪽상단의 픽셀을 추적 개

시점 P_1 으로 선택한다. 다음에 P_1 을 중심으로 P_1 의 8-연결을 그림 2에서 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.

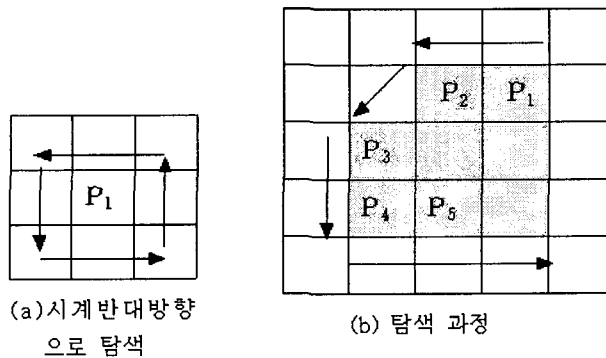


그림 2. 8-연결 경계선 추적 과정

그림 3의 (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 3(b)의 경계선에 대한 체인코드는 3 4 3 4 5 5 6 6 7 7 8 8 1 1 2 2 로 표현된다.

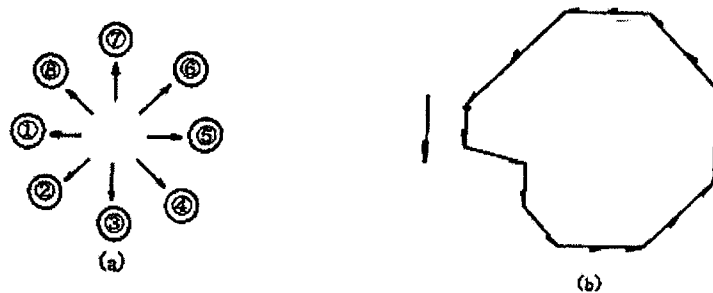


그림 3. (a) 8-방향 체인코드 (b) 8-방향 체인코드로 표시된 경계선

체인코드에 의하여 구해진 연결 성분의 경계선으로부터 그 물체의 기하학적 특징인 면적, 둘레, 형태 등의 정보를 얻을 수 있다.

2.3 색깔 측정

사과의 색깔은 사과 영상에 대한 히스토그램과 평균 명암값을 가지고 식별한다. 사과의 색깔 측

정은 사과와 꼭지부분인 윗면 또는 아랫면만을 대상으로 하여 구하였고 이 과정에서 사과 꼭지부나 아랫면의 오목한 부분은 제외하였다. 그리고 사과 영상의 가장자리 부분은 입체인 사과의 곡면으로 인하여 빛의 반사특성이 사과 윗면의 반사 특성과 같지 않으므로 이 영역 또한 영상의 색깔 측정시 제외하였다. 결과적으로 사과영상의 색깔 측정에 고려한 사과영역은 체인 코드 작업시 산출한 사과영상의 최소 반지름의 40 - 80% 범위였다.

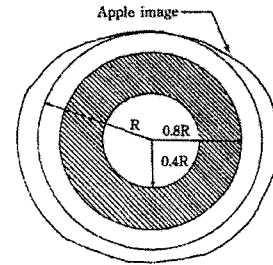


그림 4. 사과의 색깔을 측정하기 위한 환상대 영역

그림 4는 8-방향 체인코드를 이용하여 사과의 꼭지부에 해당되는 영상의 중심점, 내접반지름(R)을 구하고 $0.4R$ 와 $0.8R$ 사이의 환상대(環狀帶) 영역을 보여준다. 우리는 R, G, B 각 화면상에서 이 환상대 영역에 대해 히스토그램과 평균 명암값들을 구하여 사과를 분류한다. 영상에서 히스토그램은 픽셀이 가진 명암값을 막대그래프로 표현한 것이고 평균 명암값은 영상의 명암값들의 합을 해당 픽셀수로 나눈 값이다.

3. 색 선별 실험

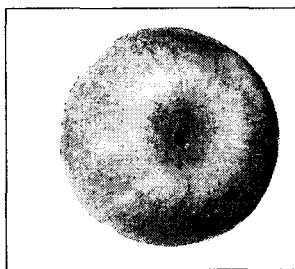
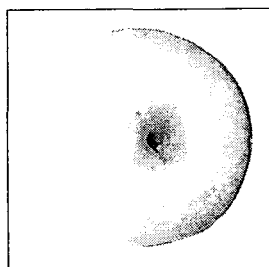


그림 5. 표본 영상

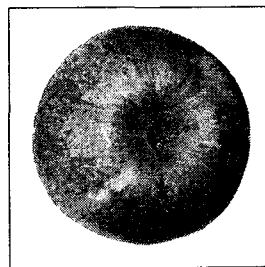
본 실험에서는 영상입력장치인 CCD 컬러 카메라(Panasonic WV-CP464), 입력된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 프레임 그래버(Matrox Meteor-II) 그리고 Matrox사에서 제공되는 소프트웨어 Mil-Lite 6.0 라이브러리를 사용하였고 개인용 컴퓨터(OS : Windows Professional 2000)에서 비주얼 C++6.0언어를 사용하여 구현하였다.

우리는 카메라로부터 얻은 그림 5의 사과 꼭지부가 포함된 표본 영상에서 색깔에 의한 선별 실험을 수행한다. 물론 사과 아랫면의 오목한 부분이 포함된 사과영상에 대해서도 똑같은 실험을 반복한다.

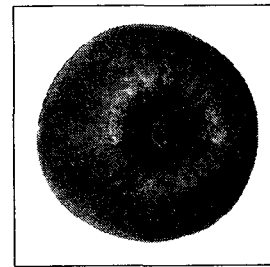
그림 6은 그림 5의 RGB 표본 영상을 R, G, B의 3개 채널로 분리하여 얻은 영상들이다.



(a) R 상에서 영상



(b) G 상에서 영상



(c) B 상에서 영상

그림 6. R, G, B 상에서 채널 분리된 표본 영상

우리는 그림 6의 각 영상에 대하여 먼저 색깔 측정을 위한 환상대 영역을 구한다. 이를 위해 그림

6의 각 영상에 대하여 에지검출과 체인코드를 적용하여 영상의 경계선을 구한다. T -검정을 이용한 에지검출에서 에지-높이 모수 δ 값은 크면 클수록 에지와 잡음이 제거됨으로 적당한 δ 값 선택은 Bovik, Huang 과 Munson(1986)에서처럼 시행착오에 의해 결정하였다. 여기서는 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 $\delta=20$ 를 사용하여 에지를 검출하였다. 그림 7(a)는 그림 6(a)의 영상에 대한 에지맵(edge map)이고 7(b)는 그림 7(a)에 체인코드를 적용하여 얻은 경계선이다. 그리고 그림 7(c)의 짙은 검은색 환상대 영역이 색깔을 측정할 부분이다.

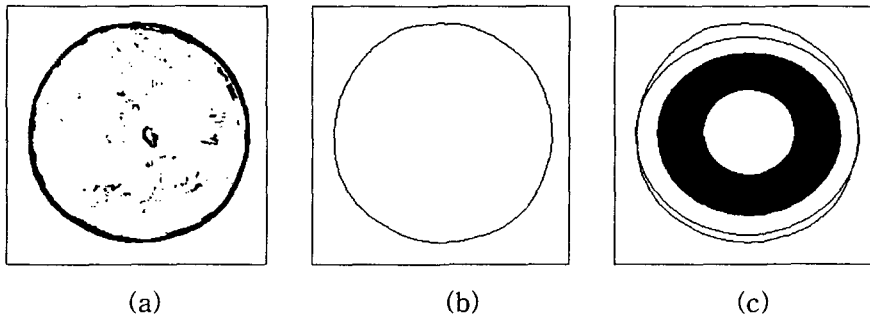


그림 7. (a)는 표본영상에 대한 에지맵이고 (b)는 체인코드를 적용하여 얻은 경계선 그리고 (c)는 색깔을 측정할 영역이다.

우리는 위에서 얻은 환상대 영역의 색깔에 대한 대략적인 분포를 파악하기 위해 각 채널상에서 히스토그램을 작성한다. 그림 8은 R, G, B상에서 환상대 영역에 대한 히스토그램이다.

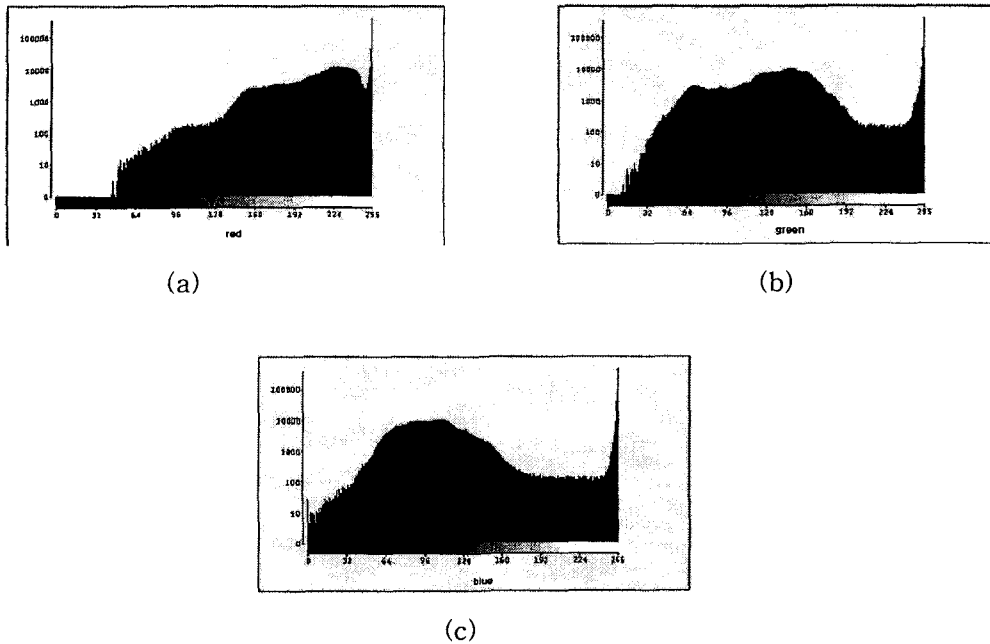


그림 8. (a)는 R 상에서 히스토그램, (b)는 G 상에서 히스토그램 (c)는 B 상에서 히스토그램이다

우리는 색깔 판정용 표준사과에 대한 히스토그램과 비교함으로써 가시적으로 과일을 선별한다. 그리고 표 1과 같이 각 채널상에서 환상대 영역에 대하여 평균 명암값을 구하였다.

[표 1] R, G, B 채널상에서 표본영상에 대한 평균 명암값

값 \ 채널	R	G	B
평균 명암값	209.3	130.8	101.7

표 1로부터 색깔 판정용 표준 색상과 비교함으로써 객관적으로 색깔에 의해 사과를 선별할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 통계적 방법에 기초한 사과 선별시스템을 이용하여 사과의 색깔을 식별하였다. 이를 위한 통계적 에지검출은 에지-높이 모수를 사용한 에지모형하에서 T -검정을 이용하였다. 검출된 에지로부터 체인코드를 이용하여 사과 영상의 경계선과 환상대 영역을 구하였다.

우리는 주어진 사과영상의 환상대 영역으로부터 R, G, B 채널상에서 히스토그램과 평균 명암값을 구하여 색깔 판정용 표준사과로부터 얻은 히스토그램과 평균 명암값과 비교함으로써 사과의 색깔을 식별하였다.

참고문헌

- [1]노상하, 유관희, 김성민.(1991). 영상처리장치를 이용한 사과의 선택 판정, *한국농업기계학회지* 16(3), 272-280.
- [2]서상룡, 성제훈.(1997). 컴퓨터 시각에 의한 사과 결점 검출, *한국농업기계학회지* 22(2), 217-226.
- [3]손재룡(1995). 영상처리식 사과 선별기 개발, 경북대학교 대학원 석사학위논문
- [4]임동훈(2003). 통계적 영상처리를 이용한 과일 선별 시스템 개발, *응용통계연구* 16(1), 129-140.
- [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]Fesharaki, N. N. and Hellestrand, G. R.(1994). A new edge detection algorithm based on a statistical approach. In *Proc. Int. Symp. Speech, Image Processing and Neural Networks*, Hong Kong, 21-24, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [7]Freeman, H.(1961). On the encoding of arbitrary geometric configurations. Institute of Radio Engineers, *Transactions on Electronic Computers*, EC10:260-8.
- [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] Rehkugler, G.E. and Throop, J.A. (1986). Apple sorting with machine vision. *Trans. ASAE*, 29(5), 1388-1397.
- [11] Sakar, N. and Wolfe, R.R. (1985). Computer vision based system for quality separation of fresh market tomatoes. *Trans. ASAE*, 28(5), 1714-1718.

[2003년 1월 접수, 2003년 7월 채택]