

농산물 및 미립자의 기하학적 특성 분석을 위한 컴퓨터 시각 시스템(I) —自動 문턱값 設定 알고리즘—

Computer Vision System for Analysis of Geometrical Characteristics of Agricultural Products and Microscopic Particles (I) — Algorithms for Automatic Threshold Selection —

이 종 환*, 노 상 하*
J. W. Lee, S. H. Noh

Summary

The main objective of this paper is to evaluate and modify the existing algorithms for the automatic threshold selection. Four existing algorithms were evaluated quantitatively using test images of coffee droplets and an apple. The images had the different area ratio of the object to the image size, different average gray values between the object and the background, and different S/N ratio of the Gaussian noise. The result showed that Histogram Clustering Method and Maximum Entropy Method were better than Moment Preserving Method and Simple Image Statistic Method in automatic thresholding.

1. 서 론

복잡한 영상을 밝은 정도, 텍스처(texture), 색깔, 움직임 등의 특징에 따라 유사하거나 공통되는 부분으로 구분함으로써 영상을 단순화할 수 있는데, 이는 영상의 분석, 표현 및 인식에 있어서 매우 중요한 과정이다. 이러한 과정을 영상 분할(image segmentation)이라고 하며, 영상 분할 방법은 화소치 분류 기법(pixel classification approach), 경계 기준 기법(edge-based approach) 및 영역 기준 기법(region-based approach)으로 나눌 수 있다.^{1), 5), 7), 16), 18)}

서로 다른 특징을 가지는 두 영역을 구분하는

경계 화소들(edge)을 검출하여 영상 분할을 하는 경계 기준 기법^{3), 6), 10), 15), 17), 21)}에는 기울기 연산자(gradient operators), 기울기와 방향을 동시에 고려하는 연산자(compass operators), 2차 미분 연산자(Laplacian operator) 및 제로-크로싱(zero-crossing) 등이 널리 사용되고 있다. 또한 노이즈에 특히 강하거나 경계의 특성을 고려한 검출 방법이 있다.

영역 기준 기법에는 미리 영상을 세분한 후 각 세분 영역의 이웃간의 성질을 비교하여 동일한 성질을 가지는 영역을 통합 하거나(region growing), 영상을 세분시키면서 각 세분 영역의 동일한 정도를 평가하고 기준치와 비교하며 영역

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

새분화를 진행시키는 방법 등이 있다.

화소치 분류 기법^{2), 8), 9), 13), 14), 19), 20), 22), 23)}은 각 화소가 어느 영역에 속하는가를 평가하여 영상을 분할하는 방법인데, 문턱값을 設定(thresholding)하여 구분하는 방법이 널리 쓰인다.

그런데, 조명이 영상 전체에 고르지 않아서 웨이딩(shading) 현상이 일어나거나 히스토그램이 一峰性(unimodal)일 때는 문턱값 설정이 어렵게 된다¹⁸⁾.

문턱값을 이용한 영상 분할에서는 같은 대상체에 대하여 조명 수준 또는 물체의 콘트라스트(contrast)가 변하면 그에 따라 문턱값도 달라진다. 특히, 현미경 영상 처리 시스템을 이용하여 微粒子의 크기 분포를 분석하고자 하는 경우에는 시료 준비 과정에서 시료의 두께 및 표면 상태가 달라지기 쉽고, 현미경 영상 처리 시스템의 視野面積(area of field)이 좁으므로 많은 횟수의 측정이 요구된다. 따라서, 측정 자동화를 위해서 최적 문턱값을 자동으로 설정하는 것이 중요하다.

농산물 및 미립자의 기하학적 특성을 분석하기 위한 컴퓨터 시각 시스템을 개발하는데 있어서 분석 데이터의 정확도를 좌우하는 것은 영상 분할 과정이다. 만일, 영상 분할에서 물체를 배경으로 또는 배경을 물체로 분할한다면, 곧 분석 데이터의 오차로 나타나기 때문이다.

이 연구는 농산물 및 미립자의 기하학적 특성을 분석하기 위한 컴퓨터 시각 시스템 개발을 위한 일련의 연구의 하나로써, 영상 분할을 자동으로 수행하기 위한 기존의 문턱값 설정 알고리즘을 고찰하고 평가하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료 및 장치

실험재료는 농산물 중에서 사과, 미립자 중에서 커피 점적을 이용하였으며, 이들의 표준영상 및 히스토그램은 그림 1 및 그림 2와 같다. 이들은 농산물 및 미립자의 기하학적 특성을 분석하는 컴퓨터 시각 시스템을 개발하기 위하여 실험 재료로 이용한 각종 농산물(벼, 사과, 감자 및

오이) 및 미립자(커피 및 우유) 중에서 선정되었다.

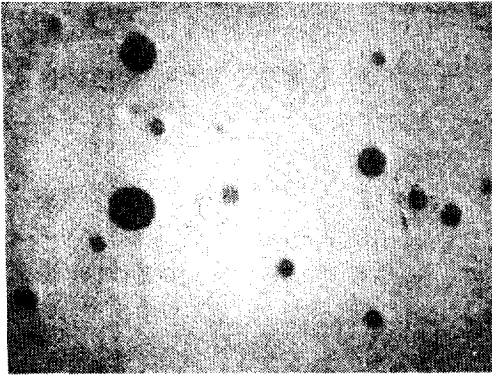
실험장치로서는 映像入力裝置部, 映像貯藏, 處理 및 出力裝置部로 구성되는 컴퓨터 영상 처리 장치를 이용하였다.

미립자 영상을 얻기 위해서 CCD 컬러 카메라(CCD color CCTV camera : Panasonic, WV-CL110, Japan)의 렌즈와 光學顯微鏡(배율 : $\times 120 \sim \times 180$)의 대안렌즈 및 경통 일부를 제거하고 여러개의 렌즈로 구성되는 어댑터(adaptor)를 이용하여 카메라와 현미경을 연결하였다. 한편 조명을 위하여 현미경 시료대 위로부터 약 10 cm되는 거리에 45° 각도로 백열등(40W)을 설치하였다.

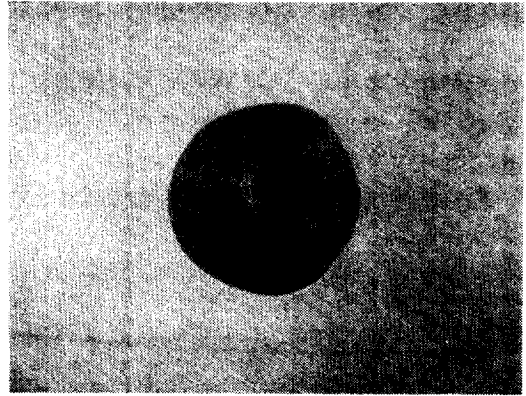
사과 영상을 얻기 위한 영상 입력 장치부는 카메라, 照明裝置 및 試料臺로 구성되며, 카메라 렌즈는 자동 조리개(Panasonic, WV-LA12, Japan) 기능을 가진 것이었다. 조명을 위하여 조립식 앵글을 이용하여 照明裝置의 프레임을 만들고 試料를 놓기 위한 아크릴판 試料臺를 설치하였으며, 6개의 一字型 螢光燈(20W)을 부착하였다. 또한, 散亂光 誘導을 위해 얇은 백색 아크릴판의 아치형 터널을 제작하였으며 카메라 높이를 조절(2cm 간격)하기 위한 카메라 높이調節臺를 설치하였다.

카메라로부터 출력되는 NTSC 신호는 3개의 프레임(frame)으로 나뉘어 프레임 그래버(frame grabber)에 저장되며 각 프레임은 R(red), G(green), B(blue) 영상을 저장한다. 이 연구에서 사용된 프레임 그래버는 Matrox社의 MVP-AT로서, 256 등급(最小 畫素値는 0, 最大 畫素値는 255)의 밝기 수준(gray level)을 가진 512×480 크기의 영상을 4프레임까지 저장한다.¹¹⁾

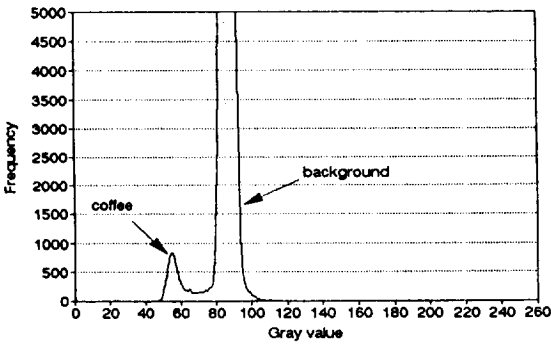
R, G 및 B 영상의 히스토그램을 조사한 결과, 히스토그램이 二峰性的 형태를 가져서 영상 분할이 보다 용이한 G 영상을 자동 문턱값 설정 알고리즘 평가에 이용하였다. 한편, 자동 문턱값 설정 알고리즘의 평가에 필요한 표준영상을 얻기 위해서 컬러 영상(R, G, B 영상)을 이용하였다("다. 알고리즘 평가" 참조).



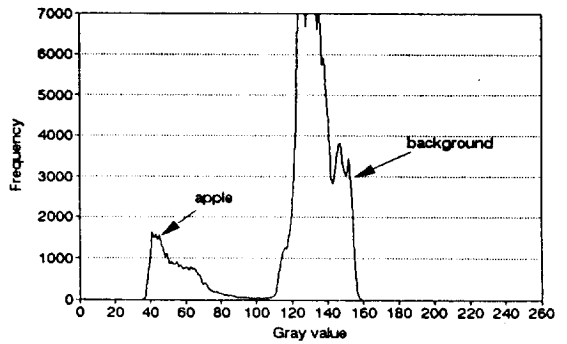
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 1. Standard image for coffee droplets (a) and its histogram(b).

Fig. 2. Standard image for apple (a) and its histogram(b).

나. 자동 문턱값 설정 알고리즘

映像 出力을 위하여 멀티 싱크 컬러 모니터 (multisync. color monitor : ECM 1311U, Kiche-ner, Canada)를 사용하였다. 호스트 컴퓨터 (host computer)는 IBM 互換用 16 비트 컴퓨터 로 작동 속도(operating speed)는 16 MHz 이다. 프로그래밍은 Microsoft C 5.1을 사용하였으며 컴퓨터 오퍼레이팅 시스템(operating system)은 MS-DOS 4.0이다. 아울러, 간단한 映像 處理를 위하여 Matrox 社에서 MVP-AT 使用者를 위 하여 提供하는 IMAGER-AT 라이브러리를 합수를 이용하였다¹¹⁾.

이 연구에서는 자동 영상 분할을 위한 기존의 알고리즘을 評價하고자 하며, 문헌고찰 및 예비 실험을 통하여 평가 대상 알고리즘으로 선택한 자동 문턱값 設定 方法은 다음과 같다.

1) 히스토그램 클러스터링 方法

히스토그램을 클러스터링(clustering) 개념을 사용하여 상대적으로 밝은 집단과 상대적으로 어두운 집단으로 구분하는 방법으로 두 집단간의 分離度를 계산하여 그 값을 最大로 하는 문턱값을 선정한다¹³⁾.

2) 最大 엔트로피 方法

엔트로피(entropy) 값이 클수록 얻을 수 있는 情報의 量이 많다는 情報 理論의 엔트로피 概念을 도입하여 문턱값을 설정하는 기법으로서, 엔트로피 값이 클수록 영상에 있는 목적물과 배경의 분포로부터 많은 정보를 얻을 수 있다^{2), 8)}.

3) 모멘트 保存 方法

두 畫素值로만 이루어진 映像이 블러링(blurring)된 것으로 간주하고, 原來 映像의 모멘트와 出力 映像의 모멘트를 같도록 하는 문턱값을 선택하는 기법이다²²⁾.

4) 單純 映像 統計 方法

그림 3과 같이 x방향과 y방향의 마스크를 이용한 방법으로 이들을 畫素值가 $g(i, j)$ 인 화소 (i, j) 에 적용하여 얻은 두 값 중에서 절대치가 큰 값, $e(i, j)$ 와 $e(i, j) \times g(i, j)$ 값을 이용하여 문턱값을 설정하는 기법이다⁹⁾.

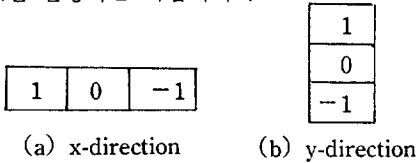


Fig. 3. Mask for Simple Image Statistic Method.

다. 알고리즘 評價

1) 평가 기준

자동 문턱값 설정 알고리즘은 문턱값 설정에 영향을 미치는 인자들을 기준으로 하여 평가할 수 있다. 기준 인자로는, 1) 대상체의 크기, 2) 대상체와 배경에 해당하는 平均 畫素值 差異, 3) 노이즈(noise), 4) 계산 비용 및 정확성 등이 있으며, 이 외에도 5) 다중 문턱값 설정(multithresholding)시의 성능, 6) 대상체의 경계 형태, 7) 後段階의 映像 處理에 미치는 영향 등이 있다.

이 연구에서는 이들 기준 인자들에 대한 반응을 定量的으로 分析하기 위하여 다음과 같이 오차 확률(probability of error), $P[e]$ 를 정의하였다.

$$P[e] = P[o] \times P[b/o] + P[b] \times P[o/b]$$

여기서, $P[e]$ =오차 확률

$P[b/o]$ =물체를 배경으로 분류한 오차

$P[o/b]$ =배경을 물체로 분류한 오차

$P[o]$ =물체가 차지하는 확률

$P[b]$ =배경이 차지하는 확률

$P[b/o]$ 가 클수록 물체를 배경으로, $P[o/b]$ 가 클수록 배경을 물체로 분류함을 의미한다. 두 가지의 오차중에서 어느 것을 더 중요시 하나냐에 따라서 加重值를 곱하여 평가 기준으로 할 수 있지만 이 연구에서는 각각에 물체 또는 배경이 영상에서 차지하는 面積比를 加重值로 하였다. $P[e]$ 값이 작을수록 문턱값 설정 성능이 우수함을 의미한다.

2) 평가를 위한 標準映像

標準映像은 영상의 각 화소가 물체의 화소인지 배경의 화소인지를 결정한 후에 각각에 해당하는 화소의 畫素值를 조사하여 얻었다. 이 연구에서는 전문가가 영상 출력 화면을 보면서 마우스를 이용하여 대상체의 윤곽에 해당하는 화소를 선정하고 선정된 윤곽 화소의 좌표를 이용하여 대상체 내부에 있는 화소의 畫素值를 조사하는 프로그램을 개발, 이용함으로써 標準映像의 문턱값, 대상체의 면적 등을 구하였다. 또한, 標準映像 및 표준영상을 변환한 變換映像에 대한 $P[b/o]$, $P[o/b]$, $P[o]$, $P[b]$ 및 $P[e]$ 를 계산하였다.

전문가가 映像 出力 畫面으로부터 輪廓 座標를 선정하는 데 있어서 오류가 생길 수 있으나 컬러 映像을 대상으로 輪廓 畫素를 決定하였기 때문에 오류는 적은 것으로 判斷된다.

3) 標準映像의 變換

자동 문턱값 설정 알고리즘의 성능을 평가하는 기준 인자 중에서 이 연구에서는 대상체의 크기, 대상체와 배경에 해당하는 平均 畫素值의 차이 및 노이즈를 기준 인자로 하여 알고리즘의 성능을 定量的으로 分析하였다. 분석을 위하여 다음과 같이 標準映像을 변환한 영상을 이용하였다.

가) 대상체 면적비의 변환

대상체 면적비의 변환은 전체 영상의 화소수 (512×480)에서 대상체가 차지하는 화소수를 변환하는 것이다. 즉, 히스토그램상에서 물체를 나타내는 히스토그램의 피크 높이(peak height)와 배경을 나타내는 히스토그램의 피크 높이의 차이를 변환한 것이다.

피크 높이의 차이가 작을수록 히스토그램은 二峰性의 형태가 되겠지만 물체가 차지하는 면적이 작아질수록 一峰性의 히스토그램이 된다. 일반적으로 자동 문턱값 設定에 있어서 오차는 히스토그램이 一峰性의 형태가 될수록 커진다.

표1은 실험에 이용한 대상체 면적비 값들이며, 그림 4는 대상체의 면적비를 변환한 영상에 대한 히스토그램의 예이다.

커피의 경우, 각 입자 영상을 배경 부분에 복사함으로써 표준영상에서의 면적비 보다 200%, 300%, 400%가 되는 영상을 얻었으며, 사과와의 경우에는 카메라의 높이 조절대를 이용하여 사

과와 카메라와의 거리를 좁힘으로써 표준영상에서의 면적비 보다 162%, 267%, 429%가 되는 영상을 얻었다.

나) 대상체와 배경의 平均 畫素值의 變換

대상체와 배경에 해당하는 畫素들의 平均 畫素值의 차이가 크면 클수록 영상의 히스토그램에서 물체만의 히스토그램과 배경만의 히스토그램이 겹치는 부분이 작아지기 때문에 문턱값 설정이 용이해진다.

대상체와 배경에 해당하는 화소들의 平均 畫素值 差異는 배경에 속하는 화소들의 畫素值는 그대로 유지하고, 물체에 속한 각 화소들의 畫素值에 일정한 값을 더해주거나 빼주는 방식으로 변환하였다.

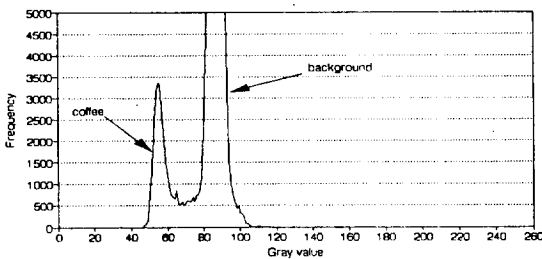
대상체와 배경의 平均 畫素值 差異의 변환 수준은 표 2와 같으며, 그림 5는 대상체와 배경의 平均 畫素值를 변환한 영상에 대한 히스토그램의 예이다.

Table 1. Area ratio of the object to the image size.

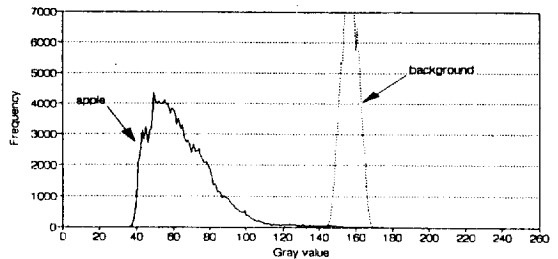
Image \ Sample	Standard (%)	Modified (%)
Coffee	3.25	6.50, 9.75, 13.00
Apple	13.98	22.66, 37.34, 60.09

Table 2. Difference in average gray value between the object and the background.

Image \ Sample	Standard	Modified
Coffee	26	56, 36, 16
Apple	68	70, 50, 30



(a) modified coffee image having area ratio by 13.00%



(b) modified apple image having area ratio by 60.09%

Fig. 4. Histograms of the modified images having different ratios in total area of droplets to the image size.

다) 가우시안 노이즈의 첨가

노이즈는 가우시안 노이즈(Gaussian noise), 균일 노이즈(uniform noise) 및 스파이크 노이즈(spike noise) 등 매우 다양하게 분류할 수 있다. 일반적으로 영상에 노이즈가 많이 포함될수록 문턱값 설정은 어렵다.

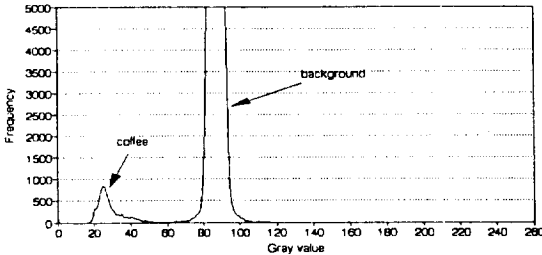
이 연구에서는 다음과 같이 신호대 노이즈비(S/N ratio)를 정의하고 각 標準映像에 가우시안 노이즈를 첨가하여 각 알고리즘의 반응을 분석하였다.

$$S/N \text{ ratio} = 10 \log_{10} \frac{\sigma^2}{\sigma_n^2}$$

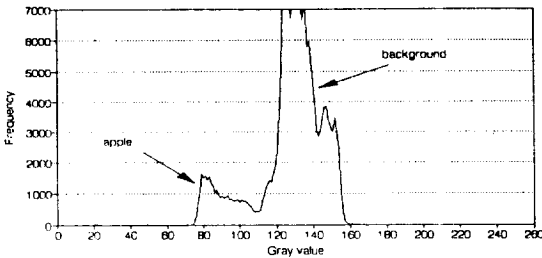
여기서, σ^2 : 원래 標準映像의 분산 (variance)

σ_n^2 : 노이즈의 분산

신호대 노이즈비가 클수록 노이즈의 영향이 작아지는데, 이 연구에서는 히스토그램에 영향을 미치는 신호대 노이즈비의 수준을 예비실험을 통하여 표 3과 같이 결정하였다. 그림 6은 노이즈가 첨가된 映像에 대한 히스토그램이다.



(a) modified coffee image having difference in average gray value by 56



(b) modified apple image having difference in average gray value by 30

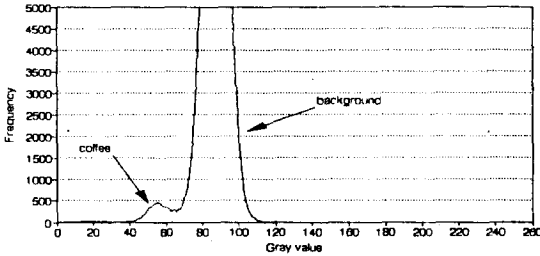
Fig. 5. Histograms of the modified images having various differences in average gray value between the object and the background.

3. 결과 및 고찰

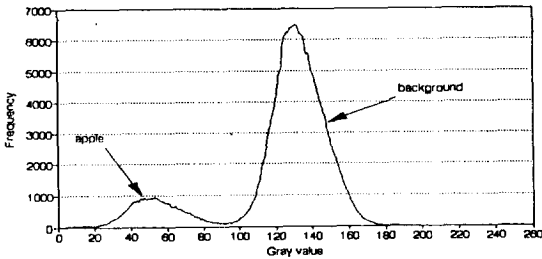
커피 및 사과 영상에 대한 표준영상을 구하고, 自動 문턱값 設定 알고리즘의 성능을 定量的으로 評價하였다. 대상체가 영상에서 차지하는 面積比 變換, 대상체 및 배경에 해당하는 像素의 平均 畫素值 變換 그리고 가우시안 노이즈를 첨가하여 얻은 變換映像에 대하여, 히스토그램 클러스터링 방법, 최대 엔트로피 방법, 모멘트 보존 방법 및 단순 영상 통계 방법 등 4 가지 알고리즘의 반응을 분석하였다.

Table 3. S/N ratio levels of test image.

Sample \ Item	Variance in gray values of standard image	S/N ratio (dB)
Coffee	41.75	10, 5, 1
Apple	846.06	20, 15, 10



(a) modified coffee image having S/N ratio by 1 dB



(b) modified apple image having S/N ratio by 10 dB

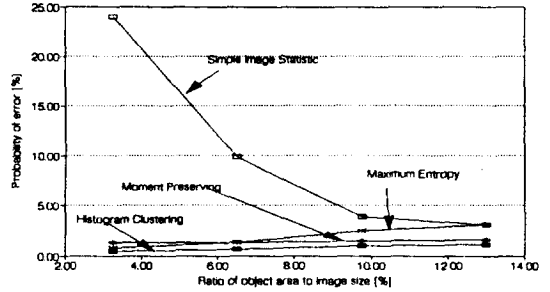
Fig. 6. Histograms of the modified images with addition of Gaussian noise to the standard ones.

가. 定量的 評價

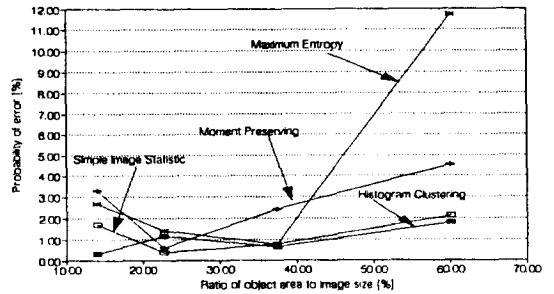
정량적인 평가를 위해 사용한 기준은, 물체를 배경으로 분류한 오차, 배경을 물체로 분류한 오차, 영상에서 물체가 차지하는 확률, 영상에서 배경이 차지하는 확률 등에 의하여 정의되는 $P[e]$ 값으로 하였다.

그림 7은 대상체의 면적비에 따른 각 알고리즘의 반응이다. 커피 영상은 대상체의 면적비가 감소할수록 각 알고리즘의 성능은 대체로 나빠지며 사과와 경우에는 50% 이상의 면적비에서 성능이 나빠지는 경향을 보였다.

대상체의 면적비에 관계없이 좋은 성능을 보인 것은 커피의 경우에 히스토그램 클러스터링 방법과 최대 엔트로피 방법이며, 사과의 경우에는 모든 알고리즘이 좋은 성능을 보였다.



(a) Coffee



(b) Apple

Fig. 7. Effect of the ratio of object area to image size on the probability of error according to automatic threshold selection algorithm.

그림 8은 대상체의 평균 畫素値와 배경의 평균 畫素値의 차이에 따른 각 알고리즘의 반응이다. 대상체와 배경의 평균 畫素値의 차이가 클수록, 히스토그램 상에서 두 부분이 겹치는 면적이 줄어들었으며 모든 알고리즘이 좋은 성능을 보였다. 평균 畫素値의 차이에 따른 성능이 좋은 순서는 히스토그램 클러스터링 방법 - 최대 엔트로피 방법 - 단순 영상 통계 방법 - 모멘트 보존 방법이었다.

그림 9는 각 알고리즘의 노이즈에 대한 반응을 나타낸다. 單純 映像 統計 方法은 노이즈에 매우 약하며 모멘트 保存 方法도 역시 좋은 성능을 보이지 않은 것은 이들 알고리즘의 이론적 배경을 고려할 때 예상될 수 있다. 노이즈에 강한 알

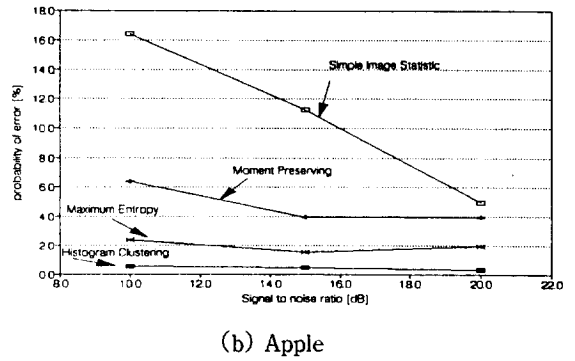
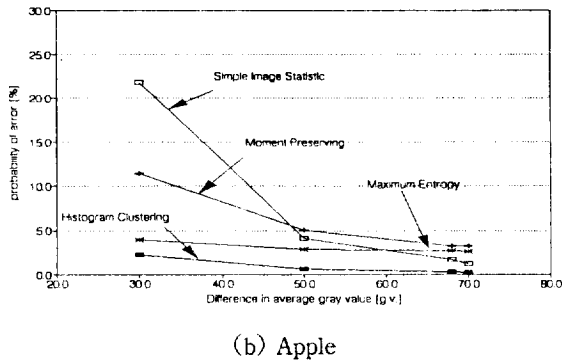
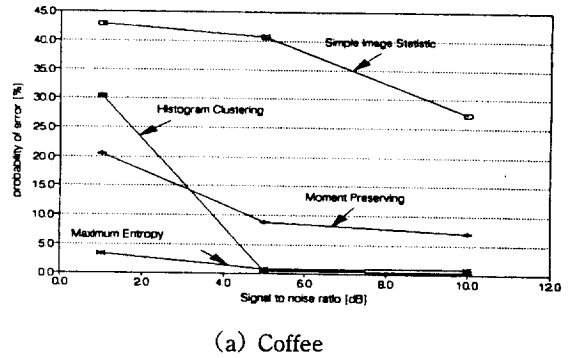
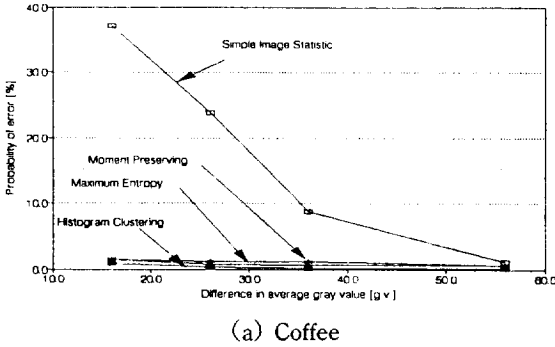


Fig. 8. Effect of difference in average gray values on the probability of error according to automatic threshold selection algorithm.

Fig. 9. Effect of signal to noise ratio on the probability of error according to automatic threshold selection algorithm.

고리즘의 순서는 최대 엔트로피 방법 - 히스토그램 클러스터링 방법 - 모멘트 보존 방법 - 단순 영상 통계 방법이었다.

커피 영상은 물체와 배경의 平均 畫素值 차이 및 영상에 대한 물체의 면적비가 작으므로, 사과 標準映像에서 보다는 커피 標準映像에서 가우시안 노이즈에 대한 반응이 예민하였다. 가우시안 노이즈를 첨가한다는 것은 주어진 화소의 畫素值을 어느 범위에 있으면서 전체적으로 평균이 제로(zero)가 되는 임의의 값으로 더하거나 빼주는 형태가 되는데 대상체의 면적비가 작을 경우 이들 변환에 의한 영향은 매우 크다.

나. 수행시간

표 4는 커피 및 사과의 標準映像에 대한 자동 문턱값 설정 방법들의 수행시간을 나타낸 것이다.

Table 4. Execution time required for automatic thresholding with four different algorithms.

Unit : sec

Algorithm \ Sample image	Coffee	Apple
Histogram Clustering	1.7	1.7
Maximum Entropy	0.9	1.4
Moment Preserving	4.1	4.1
Simple Image Statistic	308.9	308.4

여기서, 수행시간은 도스 시간(dos time)에 의하여 측정된 것으로 소수점 첫째 자리까지를 유효 숫자로 하였다.

단순 영상 통계 방법은 수행시간 측면에서 최대 엔트로피 방법, 히스토그램 클러스터링 방법 및 모멘트 보존 방법에 비하여 성능이 크게 떨어졌다. 이 연구에서는 단순 영상 통계 방법에 의한 영상 분할시, 영상의 모든 화소에 대하여 적용하지 않고 영상 영역이 (0,0)~(255, 239)와 (256, 240)~(511, 479)인 두 개의 사각형 영역

만을 대상으로 그림 3 과 같은 마스크를 적용하였다. 그 결과, 정확성은 잃지 않으면서 표 5에서와 같이 수행시간의 단축 효과는 75% 정도였다. 단순 영상 통계 방법에 의한 영상 분할에 소요되는 시간을 단축하기 위해서는 전체 영상을 대표할 수 있는 부분 영역의 조사가 선행되어야 하는 것으로 판단되었다.

Table 5. Performance of modified Simple Image Statistic Algorithm.

Image	Algorithm	Probability of error (%)	Execution time (sec)
Coffee	original	23.94	308.7
	modified	23.94	76.6
Apple	original	1.71	308.4
	modified	2.20	76.5

한편, 다중 문턱값 설정에 있어서 각 자동 문턱값 설정 알고리즘의 특성을 문헌고찰을 통하여 알아본 결과, 히스토그램 클러스터링 알고리즘은 여러 개의 문턱값을 결정하는 데는 수행시간이 급격히 증가하는 단점이 있음을 알 수 있었다.

즉, 畫素値가 256 수준을 갖는 경우, 256개의 각 畫素値를 경계로 나눈 영역들에 대하여 계급간 분리도가 최대가 되는 畫素値를 문턱값으로 하게 되므로 256번의 동일한 과정을 반복적으로 계산하는 형태이다. 따라서, 3차 영상을 얻기 위하여 2개의 문턱값을 얻는 데 소요되는 수행시간은 하나의 문턱값을 얻는 데 소요되는 수행시

간보다 이론적으로 약 128배 만큼 증가한다.

히스토그램 클러스터링 방법에 의하여 2개의 문턱값을 설정하고자 한다면, 원래의 방법보다는 1개의 문턱값을 얻은 후 제 2의 문턱값은 (영역 화소수)×(각 영역내에서 최대 분리도)의 값이 큰 영역에서 결정함으로써, 표6에서 알 수 있듯이 설정된 문턱값은 서로 다르게 나타났지만 적어도 제안된 개념에 의한 수행시간의 단축 효과가 있음을 알 수 있었다. 여기서, (영역 화소수×각 영역내에서 최대 분리도)의 계산을 위하여 필요로 하는, 畫素數가 많은 영역과 각 영역내의 최대 계급간 분산(maximum variance between class)은 히스토그램으로부터 쉽게 결

Table 6. Comparison of threshold values and execution time between the original Histogram Clustering Algorithm and the modified for trilevel image.

Sample \ Item	Algorithm	Thershold values	Execution time (sec)
Coffee	original	63, 87	538.6
	modified	53, 87	1.8
Apple	original	82, 135	537.2
	modified	72, 131	1.9

정된다. 제안된 방법은 계산 횟수가 문턱값의 갯수에 영향을 받지 않으므로 이러한 수행시간의 단축 효과는 문턱값의 갯수가 많으면 많을수록 더욱 커진다.

4. 結 論

영상 분할을 위하여 배경과 대상체를 문턱값을 설정하여 구분하는 방법이 널리 쓰인다. 문턱값을 자동으로 설정하는 기술은 영상 분석의 자동화라는 측면에서 중요하다.

이 연구는 농산물 및 미립자의 기하학적 특성을 분석하기 위한 컴퓨터 시각 시스템 개발을 위한 일련의 연구의 하나로서, 영상 분할을 자동으로 수행하기 위한 기존의 문턱값 설정 알고리즘을 고찰하고 평가하고자 수행되었다.

커피 및 사과 영상을 표준영상으로 하고, 자동 문턱값 설정 알고리즘의 성능을 정량적으로 평가하기 위하여 1) 대상체가 영상에서 차지하는 면적비 및 2) 대상체 및 배경에 속하는 화소들의 평균 화소치의 차이를 달리하거나, 3) 영상에 가우시안 노이즈를 첨가하여 변환영상을 얻었다.

이들 變換映像을 이용하여 히스토그램 클러스터링 방법(Histogram Clustering Method), 최대 엔트로피 방법(Maximum Entropy Method), 모멘트 보존 방법(Moment Preserving Method) 및 단순 영상 통계 방법(Simple Image Statistic Method) 등 4개의 알고리즘의 성능을 평가한 결과는 다음과 같다.

가. 대상체의 면적비에 관계없이 미립자의 標準映像에서 좋은 성능을 보인 것은 히스토그램 클러스터링 방법과 最大 엔트로피 방법이었다고 농산물의 標準映像의 경우에는 모든 알고리즘이 좋은 성능을 보였다.

나. 대상체와 배경의 평균 화소치의 차이에 따른 성능은 히스토그램 클러스터링 방법 - 最大 엔트로피 방법 - 單純映像統計方法 - 모멘트 保存 方法의 순서로 우수하였다.

다. 노이즈에 강한 알고리즘의 순서는 最大 엔트로피 방법 - 히스토그램 클러스터링 방법

- 모멘트 保存 方法 - 單純映像統計方法이었다.

라. 수행시간 측면에서 單純映像統計方法은 最大 엔트로피 方法, 히스토그램 클러스터링 방법 및 모멘트 保存 方法에 비하여 매우 불리하며, 단순 영상 통계 방법에 의한 영상 분할에 소요되는 시간을 단축하기 위해서는 전체 영상을 대표할 수 있는 부분 영역의 조사가 선행되어야 하는 것으로 판단되었다.

바. 문헌고찰 결과, 히스토그램 클러스터링 알고리즘은 여러 개의 문턱값을 결정할 때 수행시간이 급격히 증가하는 특성이 있었다. (영역 화소수 \times 각 영역내에서의 최대 분리도)의 값이 큰 영역을 문턱값 후보 영역으로 하여 문턱값을 결정해 나가면 수행시간의 절대적인 단축 효과가 있는 것으로 판단되었다.

參 考 文 獻

1. 노상하, 이종환. 1990. 영상 처리 기술의 농업적 이용. 한국농업기계학회 주최 심포지엄 발표문 "농업 생산 시스템의 자동화와 첨단 기술", p.99-147.
2. Abutaleb, A.S. 1989. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimensional entropy. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 47 : 22-32.
3. Davis, L.S. 1975. Survey of edge detection technique. Computer Graphics and Image Processing, 4 : 248-270.
4. Embree, P.M. and B. Kimble. 1991. C language algorithms for digital signal processing. Prentice-Hall International Editions. p. 207-215, p. 386-393.
5. Gonzalez, R.C. and P. Wintz. 1987. Digital image processing. Addison Wesley. p. 391-428.
6. Güner, S.R. 1977. Edge detection by compass gradient masks. Computer Graphics and Image Processing, 6 : 492-501.

7. Jain, A.K. 1989. Fundamentals of digital image processing. Prentice-hall.
8. Kapur, J.N., P.K. Sahoo and A.K.C. Wong. 1985. A new method for graylevel picture thresholding using the entropy of the histogram. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 29 : 273-285.
9. Kittler, J., J. Illingworth and J. Foglein. 1985. Threshold selection based on a simple image statistic. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 30 : 125-147.
10. Marr, D. and E. Hildreth. 1980. Theory of edge detection. *Proceedings of Royal Society London B*, 207 : 187-217.
11. Matrox. 1989. IMAGER-AT MS DOS software library for MVP-AT video digitizer. Matrox, Canada.
12. Microsoft. 1987. Microsoft C 5.1 Optimizing compiler. Microsoft Corporation, Washington.
13. Otsu, N. 1979. A threshold selection method from gray level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybern.*, SMC-9(1) : 62-66.
14. Peleg, S. 1978. Iterative Histogram Modification-2. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybern.*, SMC-8(7) : 555-556
15. Peliand, T. and D. Malah. 1982. A study of edge detection algorithms. *Computer Graphics and Image Processing*, 20 : 1-21.
16. Pratt, W.K. 1978. Digital image processing. John Wiley & Sons.
17. Robert, M.H. 1984. Digital step edges from zero crossing of second directional derivatives. *IEEE Transactions on PAMI*, 39-49.
18. Rosenfeld, A. and C.K. Avinash. 1982. Digital picture processing. Academic Press. p. 55-84, p. 130-152, p. 219-275, p. 286-290.
19. Rosenfeld, A. and L.S. Davis. 1978. Iterative histogram modification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybern.*, SMC-8(4) : 300-302.
20. Sahoo, P.K., S. Soltani, A.K.C. Wong and Y. C. Chen. 1988. A survey of thresholding techniques. *Computer vision, Graphics, and Image Processing*, 41 : 233-260.
21. Tamar, P. and M. David. 1982. A study of edge detection algorithms. *Computer Graphic and Image Processing*, 20 : 1-21.
22. Tsai, W.H. 1985. Moment-preserving thresholding : A new approach. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 29 : 377-392.
23. Weszka, J.S. and A. Resonfeld. 1979. Histogram modification for threshold selection. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybern.*, SMC-9(1) : 38-50.