

Color Morphological Pyramid를 이용한 에지 검출

최은희 · 김석태

부경대학교 정보통신공학과

Edge Detection using Color Morphological Pyramid

Eun-Hee Choi · Seok-Tae Kim

Department of Telematics Engineering, Pukyong National University

E-mail : revolt@mail1.pknu.ac.kr · setakim@pknu.ac.kr

요 약

컬러 이미지는 Gray-Scale 이미지와는 달리 3가지 채널의 조합으로 이루어지고 방대한 정보량 때문에 효과적인 에지 검출이 어렵다.

본 논문에서는 범용성 있는 Color Morphological Pyramids(CMP)구조를 제안하고, 그를 이용한 에지 검출을 보인다. 이미지 피라미드 구조는 최초 이미지의 반복적인 필터링과 샘플링에 의해 면적비가 2^{-l} ($l=1,2,\dots,M$)이 되는 순차적 이미지 계열이다. CMP는 RGB, HSI, CMY 등의 컬러 공간에서 컬러 모폴로지를 이용하여 연속적인 필터링 처리로 불필요한 크기의 물체 및 잡음을 제거하고, 부샘플링과정으로 해상도를 낮춰주는 방식이다. 생성된 CMP에서 인접 레벨간을 이웃한 픽셀 벡터간의 상대거리를 이용한 연결식을 사용하여 새 레벨의 이미지를 생성하며, 이를 에지 검출한다. 실험을 통하여 본 방법의 유효성을 검증한다.

1. 서 론

컬러 이미지내의 한 픽셀 값은 컬러 공간에서 각 채널의 조합으로 결정된다. 기존의 컬러 이미지 처리는 채널을 분리하여 gray 이미지에서 사용하던 방법을 적용하고 있다. 그러나, 컬러 이미지는 각 채널간을 분해하여 생각할 수 없으므로 이미지를 직접적으로 처리해 주는 알고리즘이 필요한 실정이다[1~2].

피라미드 구조는 이미지의 해상도를 낮춰주어 정보량을 줄여주는 장점이 있다[3~4]. 따라서, 피라미드 구조를 이용하면 컬러 이미지의 정보량은 줄이면서 계산량 소모에 이익을 줄 수 있다. 또한 모폴로지 필터는 대상물체의 특징 정보는 보존하면서 불필요한 부분들은 제거할 수 있다[5~7].

이러한 점을 이용하여 본 논문에서는 다양한 컬러 공간에서 이미지 처리를 할 수 있도록 범용성 있는 color morphological pyramid(이하 CMP)를 제안한다.

그리고, 공간거리 개념을 적용한 컬러 모폴로지의 기본 연산을 정의한다. 본 컬러 모폴로지 필터를 CMP 생성에 적용하여 연속적인 노이즈 및 불필요한 부분을 제거한다.

마지막으로 제안한 CMP를 이용하여 에지를 검출한다. 인접 레벨간을 이웃한 픽셀 벡터간의 상대거리를 이용한 연결식을 사용하여 새 레벨의 이미지를 생성한다. 이를 dilation한 이미지와

erosion한 이미지의 차에 의해 에지를 검출한다. 생성된 에지 이미지는 컬러 값은 보존하면서 미세한 부분의 에지까지 검출할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 컬러 표현 모델과 컬러 모폴로지를 보이며, III장에서는 제안한 CMP형성 과정 및 에지 검출 방법을 보이며, IV장에서는 기존방식과 제안된 방식을 이용한 실험을 통해 본 논문의 유효성을 검증하고, V장에서는 결론을 보인다.

II. 컬러 표현 모델과 컬러 모폴로지

인간의 컬러 지각은 세가지 cone의 반응에 의해 결정되며, 때문에 컬러 시스템들은 세 개의 숫자를 기반으로 한다. 이들의 조성비에 의해 다양한 색도도를 표현하며, 다음은 각 컬러 표현 모델과 컬러 모폴로지에 대해 알아본다.

1. RGB/CMY/XYZ/YIQ 컬러 공간

RGB 컬러 공간은 서로 가산될 수 있는 빨강(red), 초록(green), 파랑(blue)으로 구성되어, 컬러의 분광 요소들이 부가적으로 복합되어 컬러를 나타낸다. 컬러 모형은 R,G,B가 정육면체의 꼭지점으로 표현되며, 흑과 백은 원점에서 대각 꼭지

점으로 연결한 대각선과 같다.

RGB 모델은 색채공간은 모든 값들이 컴퓨터 모니터상에 실현가능한 색들로 대응된다는 장점이 있지만, 장치 의존적이며 RGB 공간상의 색들이 균등하지 못한 단점을 가진다.

CMY 컬러 공간은 청록색(cyan), 자홍색(magenta), 노랑색(yellow)으로 구성되며, RGB 컬러 공간과 보색관계를 가진다. CMY와 RGB의 변환 식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{cases} C = 255 - R \\ M = 255 - G \\ Y = 255 - B \end{cases} \quad (1)$$

CIE XYZ 컬러 공간은 CIE(International Commission on Illumination)에서 빛의 파장이 700nm(빨강), 546.1nm(초록), 435.8(청자)의 세가지 원자극들을 혼합하여 어떤 하나의 색에 일치시킨 것이다. 그러나 546nm이하의 파장은 색도도에서 부(-)의 계수가 되므로, 음의 부분이 없게 R,G,B에 대응하는 세 원색 X, Y, Z를 정의하였다.

RGB와 XYZ의 변환 식은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} X &= 0.412453R + 0.357580G + 0.189423B \\ Y &= 0.212671R + 0.715160G + 0.072169B \\ Z &= 0.019334R + 0.119193G + 0.950227B \end{aligned} \quad (2)$$

YIQ 컬러 공간은 컬러 TV 방송용으로 NTSC(National Television System Committee)에서 채택한 것이다. YIQ 모델은 RGB 모델의 선형 변환에 의해 만들 수 있으며, 고정된 대역폭의 이용을 최대화하여 인간 시각적 특징을 이용하고자 한다. Y는 luminance로, I는 red에서 cyan까지 색상 값을, Q는 magenta에서 green까지 색상값을 가진다. 변환식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ I &= 0.596R - 0.275G - 0.321B \\ Q &= 0.212R - 0.523G + 0.311B \end{aligned} \quad (3)$$

HSI 컬러 공간은 색상(hue), 채도(saturation), 명도(intensity)의 세 값으로 표현하는 시스템이다. HSI 모델은 원통 좌표계로 나타내며, Hue는 각도를 표현하여 0°에서 360°사이의 값을 가지며, Saturation은 단원면의 반지름을 뜻하며, 0에서 1의 값을 가지고, Intensity는 세로축을 나타내어 0(검정색)에서 1(흰색)사이의 gray 값을 가진다. RGB와 HSI의 변환식은 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{3}(R+G+B) \\ S &= 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \\ H &= \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

단, B가 G보다 클 경우 H=360° - H가 된다.

2. 컬러 모폴로지

각 컬러 공간에서의 컬러 모폴로지 개념은 모두 공간 거리 개념을 이용한다. RGB, CMY, XYZ, YIQ 컬러 모델은 각 3가지 인수를 각 축으로 한 직육면체 좌표계로 표현할 수 있다. 따라서 이들은 RGB 컬러 모폴로지로 대표해서 표현될 수 있으므로, RGB에 대해서만 논하며, 이외 컬러 공간들도 같은 개념으로 컬러 모폴로지를 구할 수 있다.

RGB모델에서 R,G,B를 각 축으로 픽셀 값을 벡터로 본다. 각 축의 단위 벡터를 $\vec{r}, \vec{g}, \vec{b}$ 로, 좌표를 (r,g,b)로 하면, 각 좌표의 벡터 크기는 원점에서 픽셀까지의 거리와 같게된다. 여기서, Dilation과 Erosion은 구조요소와 겹치는 9개 픽셀의 좌표 중에서 거리를 계산하여 최대·최소의 좌표를 주목픽셀의 출력 값으로 한다. A는 대상 이미지, B는 구조요소, 주목픽셀은 cp(current pixel), 주위픽셀을 n=0~7로 하여, 컬러 모폴로지 기본 연산을 나타내면 식(5)(6)과 같다.

$$(A \oplus B)_{(R,G,B)(s,t)} = \max\{(r_n, g_n, b_n) \mid \sqrt{r_n^2 + g_n^2 + b_n^2}\}, \text{ for } n=0 \sim 7, cp \quad (5)$$

$$(A \ominus B)_{(R,G,B)(s,t)} = \min\{(r_n, g_n, b_n) \mid \sqrt{r_n^2 + g_n^2 + b_n^2}\}, \text{ for } n=0 \sim 7, cp \quad (6)$$

HSI 컬러 공간은 기준점을 I=0.5, S=0, H=0으로 한 후, 기준점으로 부터의 현 픽셀 벡터까지의 공간거리를 계산하여 기본 연산을 정의하면 식 (7)(8)과 같다.

$$(A \oplus B) = \{A(D_b); D_b = \arg \left[\max_{(b \in B)} d_b, d_b = \sqrt{s^2 + s'^2 + 2ss' \cos(h-h')} + (i-i')^2 \right]\} \quad (7)$$

$$(A \ominus B) = \{A(D_b); D_b = \arg \left[\min_{(b \in B)} d_b, d_b = \sqrt{s^2 + s'^2 + 2ss' \cos(h-h')} + (i-i')^2 \right]\} \quad (8)$$

즉, d_b 는 기준위치와 구조요소의 형태와 일치하는 대상이미지내의 픽셀 위치간의 공간거리를 의미한다.

III. 범용적인 CMP의 제안

1. CMP 생성

제안한 CMP는 생성과정은 다음과 같다.

단계 1. $I_0 = I$: 입력이미지를 0레벨 이미지로 초기화한다.

단계 2. $I_L = [(I_{L-1} \cdot k)] \downarrow_S$: L 레벨의 이미

지를 생성한다.

단계 3. 기저 레벨 N까지 (2)단계를 반복한다.

I 는 대상이미지, \cdot 는 모폴로지 필터인 cloing 필터, S 는 부샘플링 인수를 나타내며 주로 2를 사용한다. 생성된 CMP는 다음과 같다.

$$CMP = \{I_L, L=0, 1, \dots, N\}$$

CMP는 원 이미지의 색상 범위는 보존하면서 정보량을 줄여주며, 고주파부분을 제거하여 원치 않는 부적절한 대상물의 제거까지 해준다. 각 채널을 분리하여 Gray scale처럼 각각 생성하여 합성하지 않고, 하나의 개념으로 피라미드를 생성하여 색상 정보의 왜곡이 없다. 또한 다양한 컬러 공간에서 CMP를 생성하여 범용성이 있도록 하였다.

2. CMP를 이용한 에지 검출

CMP를 이용한 에지 검출은 기저레벨의 컬러 이미지가 색상정보를 최대한 유지하고 있으므로, 기저레벨에서 시작한다. 먼저, 생성된 CMP의 각 레벨간의 픽셀 연결 방식을 이용한다. 각 인접 레벨 이미지간에는 자픽셀에 4 후보의 부픽셀이 있어 이들간의 연결은 픽셀 벡터간의 상대적 거리 차 중 최소인 픽셀 벡터를 선택하여 이미지를 생성한다. 식(9)(10)은 RGB와 HSI 컬러 공간에서 상대거리를 나타내며, CMY,XYZ,YIQ 컬러공간은 식 (9)와 같은 방식으로 구한다.

$$D_{RGB} = \sqrt{(r_{cp} - r_n)^2 + (g_{cp} - g_n)^2 + (b_{cp} - b_n)^2} \quad (9)$$

$$D_{HSI} = \sqrt{d_i^2 + d_c^2} \quad (10)$$

$$d_i = |I_i - I_j|, \quad d_c = \sqrt{S_i^2 + S_j^2 - 2 \cdot S_i \cdot S_j \cdot \cos \theta}$$

이를 이용한 현재 레벨에서의 픽셀과 인접레벨에서의 픽셀과의 연결은 식(11)에 의한다.

$$I'_{L(CMP)}(s, t) = \min[abs(D_{L(CMP)}(s, t) - D_{L+1(CMP)}(\frac{s}{2} + x, \frac{t}{2} + y)) \mid (s, t) \in I_{L(CMP)}, (\frac{s}{2} + x, \frac{t}{2} + y) \in I_{L+1(H,S,I)}] \quad (11)$$

(x,y) 는 $(0,0),(0,1),(1,0),(1,1)$ 중 하나의 픽셀값을 나타내며, 새로운 이미지 $I'_{L(CMP)}(s, t)$ 는 컬러 공간상의 레벨 L에서 한 픽셀을 나타낸다. 이는 레벨 L픽셀과 이의 부레벨 L+1의 (x,y) 만큼의 주위 픽셀 중 벡터거리가 최소인 픽셀로 나타내므로 가장 색상정보가 비슷한 값이 선택된다.

0레벨크기의 이미지가 생성되면, 에지 검출을 한다. 컬러 에지 검출은 각 컬러 공간에서 컬러

모폴로지 필터를 이용하여 생성되며 그 단계는 다음과 같다.

단계 1. 구조요소 K, 생성된 0레벨의 이미지 I' 라 하고, 이를 dilation한 이미지 I_{dil} , erosion한 이미지 I_{ero} 를 식(12)와 같이 나타낸다.

$$I'_0 \oplus K = I_{dil} \quad I'_0 \ominus K = I_{ero} \quad (12)$$

단계 2. dilation 이미지에서 erosion 이미지와의 차를 구하여 이미지를 얻는다. 이때 차 이미지는 에지 후보 이미지로 볼 수 있으며, 식 (13)과 같이 나타낸다.

$$I_{dil} - I_{ero} = I_{edge} \quad (13)$$

IV. 실험 및 고찰

실험은 block color image (256 × 256 크기)를 이용하였다. CMP 형성에서 레벨은 4로 하였으며, 부샘플링 인수는 2로 하였다. 기존의 채널별 에지 검출은 Sobel을 이용한다. 그후 제안한 방식과의 결과 이미지를 비교한다. 비교를 위하여 각각의 컬러 에지와 이의 gray로 변환한 에지를 보이며, threshold 과정은 없다.

그림 1.은 대상 이미지인 block color image이다. 블록의 색상특징이 뚜렷하고, 햇빛으로 인해 음영이 있어 같은 색상이라도 다른 영역으로 인식되며, 배경과 그림자의 구분이 뚜렷이 되는 특징을 가진다.

먼저, RGB 컬러 공간에서 채널별로 Sobel 마스크하여 얻은 에지 검출 결과가 그림 2. 와 같다. 채널별 합성을 통한 에지 검출은 컬러 에지의 색상정보가 손실되었으며, 이의 gray scale 에지를 보아도 에지의 끊임이 많으며, 배경과 그림자의 구분이 안되고 있다.

그림 3은 제안한 방법을 이용한 각 컬러 공간에서의 에지이다. CMP를 이용한 에지 검출은 모든 컬러 공간에서 컬러 색상 정보를 유지하고 있다. 그림 2.의 (a)는 물체의 영역이 뚜렷이 나타나고, 음영진 부분까지 구별해준다. (c)는 배경과 그림자의 구분이 뚜렷하다. (e)는 전체적으로 가는 에지를 보이며, 역시 배경과 그림자 구분이 뚜렷하다. (g)는 영역은 구별이 되나, 에지가 너무 가늘어 끊어지는 부분이 있다. (i)는 가장 선명한 컬러 에지를 보이며, 배경과 그림자 뿐만아니라 물체의 결까지 검출하고 있다. 전체적으로 색상의 구분이 뚜렷이 되면서 영역의 구분이 뚜렷이 되고있으며, 특히 HSI 컬러 공간에서 아주 미세한 영역까지 에지를 가늘게 검출하는 것을 볼 수 있다.

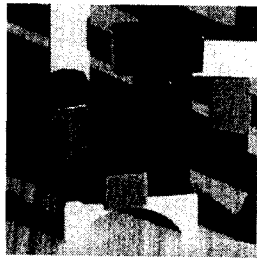
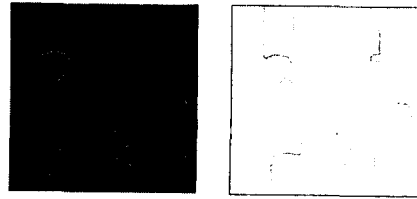
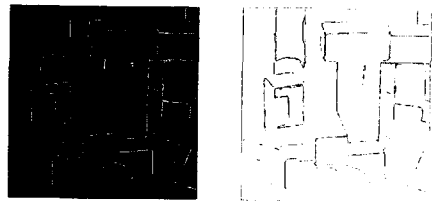


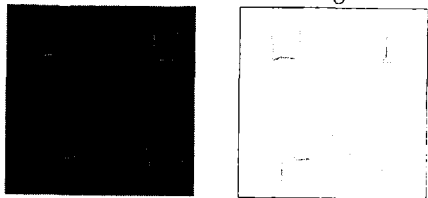
그림 1. block color image



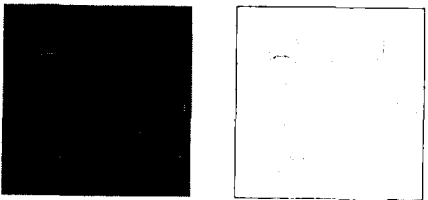
(i) HSI 컬러 공간 (j)(i)의 convert edge
그림3. CMP를 이용한 에지 검출



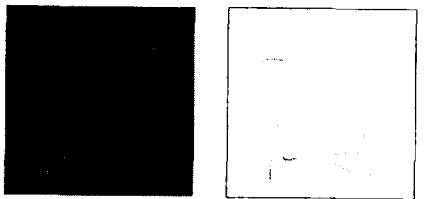
(a) 컬러 에지 (b)(a)의 convert 이미지
그림 2. Sobel masking



(a) RGB 컬러 에지 (b)(a)의 convert 이미지



(c) CMY 컬러 에지 (d)(c)의 convert edge



(e) XYZ 컬러 에지 (f)(e)의 convert edge



(g) YIQ 컬러 공간 (h)(g)의 convert edge

V. 결론

본 논문에서는 컬러 이미지의 직접적인 처리 및 방대한 정보량을 줄여서 사용할 수 있는 CMP를 제안하였으며, 그를 이용하여 에지를 검출하여 유용성을 평가하였다.

제안한 CMP는 다양한 컬러 공간에서 컬러 모폴로지 필터와 부샘플링의 반복적인 연산으로 형성하여 범용성이 있도록 하였다. 또한 컬러 공간에서의 채널별 피라미드 생성을 통해 손실될 수도 있는 색상정보를 유지하도록 하였다.

생성된 CMP에서 부레벨과 차례벨간에 이웃한 픽셀 벡터의 상대거리 중 최소값을 가지는 픽셀들에 의해 부레벨 면적의 새 이미지가 생성되며, 이를 모폴로지 필터를 이용한 에지 검출을 보였다. 이는 기존방식에서 손실될 수 있는 에지의 색상값을 보존하면서 미세한 결부분, 음영진 부분, 그림자 부분까지 에지 검출할 수 있었다.

이를 이용한 실시간 디지털 이미지 처리의 응용 및 DB 검색 등에 이용가능하며, 기저레벨의 수를 자동적으로 찾아주는 연구가 좀 더 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley, 1992
- [2] Crane, A simplified approach to Image Processing, Prentice Hall, 1997
- [3] 남궁 재찬, 화상공학의 기초, 기전연구소, 1993
- [4] Hubert Konik, Vincent Lozano, and Bernard Laget, Color Pyramids for Image Processing, Journal of Imaging Science and Technology 40, p535 ~ 542, 1996
- [5] J.Serra, Image Analysis and Mathematical Morphology, vol.1~2, Academic Press, 1982
- [6] 엄재원, 최태영, "순도기반 컬러형태론", 신호처리합동학술대회 논문집, 11권 1호, pp. 55-58, 1998년 10월
- [7] 장용준, 김진욱, 김석태, HSI공간의 거리에 기반한 컬러모폴로지, 제11회 영상처리 및 이해에 관한 워크 샷 발표 논문집, 1999.2