색 보존을 위한 히스토그램 평활화 기법

조영심°, 최인석, 윤종호, 최명렬
한양대학교 ASIC 연구실
{join°, coolis, sfw1179, choimy}@asic.hanyang.ac.kr

Histogram equalization for Hue preserving

Young-Sim Jo°, In-Sock Choi, Joung-Ho Yun, Myung-Ryul Choi
ASIC lab. Hanyang univ.

요 약

본 논문에서는 컬러 이미지의 색을 보존하면서 콘트라스트를 향상 시키는 히스토그램 평활화 기법을 제안 하였다. 과도한 영상의 밝기 변화를 조절하기 위해 히스토그램의 중간 값을 사용하였다. 히스토그램이 좌측 혹은 우측에 집중되어 분포하는 경우 최대 콘트라스트를 얻기 위해 엔드 인 콘트라스트 스트래칭을 추가 적용하였다. 제안된 알고리즘을 적용하면 색을 보존하면서 최대 콘트라스트를 얻을 수 있다.

1. 서 론

RGB (Red, Green, Blue) 컬러 모델은 컬러 모니터나 비디오, 카메라 등의 디스플레이 장치에서 컬러 이미지를 표현하기 위해 사용된다. 하지만 인간의 시각작용은 명도(밝기), 채도 와 휘도로 색을 구분한다. 특히 밝기에 민감하게 반응하기 때문에 콘트라스트(밝기 값의 범위)가 넓은 이미지를 좋은 이미지로 간주한다.

그레이 이미지의 콘트라스트를 향상시키는 알고리즘으로는 히스토그램 평활화와 콘트라스트 스크래칭을 주로 사용한다. 이는 입력 이미지의 그레이 레벨 분포를 토대로 하여 균일한 분포 특성으로 새로운 형태를 취하게 한다.

히스토그램 평활화를 컬러 이미지에 적용할 경우의 문제점은 다음과 같다. 첫째 RGB 각각에 대해 변환 함수를 적용할 경우 색이 틀어지는 결과를 초래한다. 둘째 히스토그램이 한쪽으로 치우쳐 분포할 경우 히스토그램 평활화는 과도한 밝기 변화의 원인이 된다.

본 논문에서는 이미지의 각 픽셀에 대한 RGB의 비율을 보존하기 위해, RGB 각각에 동일한 변환 함수를 적용한다. 변환함수는 밝기 값을 가장 많이 가지고 있는 G채널으로 만든다. 또한 이미지의 과도한 밝기 변화를 제어하기 위해 히스토그램의 중간 값을 중심으로 히스토그램 평활화를 수행한다.

본 논문의 2장에서는 기존의 히스토그램 평활화를 설명하고, 3장에서는 기존의 콘트라스트 스트래칭을 설명하고 4장에서는 제안한 알고리즘에 대하여 설명하였다. 5장에서는 시뮬레이션 결과 이미지의 특징에 대해 논하며, 6장에서 결론과 향후 개선되어야 할 점에 대해 논하였다.

2. 히스토그램 평활화

이미지의 히스토그램은 이미지의 밝기 값의 정보를 제공하며, 이미지를 구성하는 콘트라스트 및 밝기의 분포에 대한 정보도 제공한다.

콘트라스트란 히스토그램에서 가장 어두운 영역부터 가장 밝은 영역의 범위로 정의한다. 따라서 이미지의 콘트라스트가 증가하면 이미지를 더욱 상세하게 볼 수 있다.

히스토그램 평활화는 입력이미지의 그레이 레벨을 재분배 하여 결과적으로 이미지의 콘트라스트를 향상시키는 방법이다.

이미지에서는 확률밀도함수를 히스토그램이라 정의한다. 식(1)은 확률밀도함수를 나타내는 식이다. 확률밀도함수의 합을 누적분포함수라 하고, 식(2)는 수식으로 표현한 것이다.

$$P(X_k) = n_k / n \tag{1}$$

$$C(X_k) = \sum_{i=0}^{k} P(X_k) \tag{2}$$

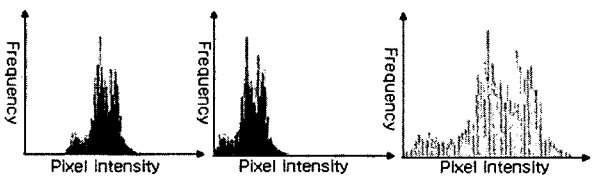
$k = 0, 1, \ldots, L-1$ 이고 , $C(X_k) = 1$ 로써 정의 한다.

히스토그램 평활화에서 변환함수는 입력이미지의 히스토그램 분포를 이용하여 구한다. 히스토그램 평활화에서 변환함수는 확률 밀도 함수를 토대로 한 누적분포함수로 정의하고, 식(3)는 수식으로 표현한 것이다.

$$f(X_k) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)C(X_k) \quad , \quad k = 0,1,\ldots,L-1 \tag{3}$$

3. 콘트라스트 스트래칭

콘트라스트 스트래칭은 히스토그램 정보를 사용하여 이미지의 밝기 분포를 재배열함으로써 이미지의 콘트라스트 특성을 개선한다. 콘트라스트 스트래칭은 낮은 콘트라스트를 가진 이미지의 질을 향상 시키는데 사용되어지는 방법으로 i) 기본적인 콘트라스트 스트래칭과 ii) 엔드 인 탐색 방식 두 가지가 있다.



(a) (b) (c)

그림 1. 낮은 콘트라스트를 가진 이미지 (a) 원 이미지 (b)오프셋을 차한 이미지 (c) 오프셋을 곱한 이미지

그림 1(a)은 낮은 콘트라스트를 가지는 이미지이다. 오프셋(offset) 값으로 차 하면 그림 1(b)와 같이 히스토그램이 0에서부터 분포하게 된다. 그림 1(b)에서 오프셋을 곱하게 되면 그림 1(c)와 같이 화소 값의 분포가 전체 그레이 영역에 균일하게 분포된다. 이를 기본적인 콘트라스트 스트래칭이라

한다. 식(4)는 기본적인 콘트라스트 스트래칭을 나타낸 식이다.

$$new\ pixel = \frac{input - low}{high - low} \times 255 \quad (4)$$

*low*는 히스토그램에서 밝기 값의 최소값을 나타내며 *high*는 밝기 값의 최대값을 나타낸다.

엔드 인 탐색 방식은 히스토그램이 표현 가능한 모든 범위에 분포하지만, 그림 2와 같이 특정부분에 집중되어 분포 할 경우에 적용하는 방식이다.

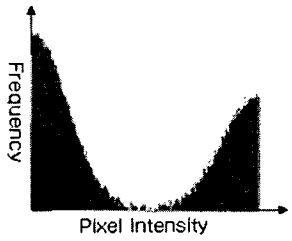


그림 2. 높은 콘트라스트를 가진 이미지

그림2의 경우 최소값은 0이고, 최대값은 255를 가지게 된다. 엔드 인 탐색은 임의의 오프셋값(*low* 혹은 *high*)을 주고 오프셋 사이 값에 대해 콘트라스트 스트래칭을 적용하는 것이다. 식(5)는 엔드 인 탐색 방식을 나타낸 식이다.

$$Out(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \le low \\ \dfrac{x - low}{high - low} \times 255 & \text{for } low \le x \le high \\ 255 & \text{for } high \le x \end{cases} \quad (5)$$

4. 제안한 알고리즘

4.1. 중간 값을 이용한 히스토그램 평활화

본 논문에서는 과도한 밝기 변화를 막기 위해 전체 입력 픽셀의 중간 값을 이용한 히스토그램 평활화를 제안하였다.

주어진 이미지 X 를 중간값 X_e 를 중심으로 X_L 과 X_U 로 나눈다.

$$X_L = \{X(i,j) \mid X(i,j) < X_e, \forall X(i,j) \in X\} \quad (6)$$

$$X_U = \{X(i,j) \mid X(i,j) \ge X_e, \forall X(i,j) \in X\} \quad (7)$$

식(6)는 중간 값보다 작은 밝기 값을 가지는 집합을 의미하고, 식(7)은 중간 값보다 큰 밝기 값을 가지는 집합을 의미한다. X_L 의 확률 분포는 $\{P_0, P_1, ..., P_{e-1}\}$ 로 X_U 의 확률 분포는 $\{P_e, P_{e+1}, ..., P_{L-1}\}$ 로 구성된다. 서브 이미지의 확률분포를 정규화하면 X_L 은 $\{P_i / P, \quad i = 0,1,....,e-1\}$ 이고, X_U 은 $\{P_i /(1-P), \quad i = e, e+1, ..., L-1\}$ 로 나타낼 수 있다. P 는 0부터 중간 값까지의 합이다.

X_L 와 X_U 정규 누적 분포함수는 식(8)과 같다.

$$C_L(X_k) = \frac{1}{P}\sum_{i=0}^{k} P_i, \qquad k = 0,1,...,e-1$$

$$C_U(X_k) = \frac{1}{1-P}\sum_{i=0}^{k} P_i, \qquad k = e, e+1, .., L-1 \quad (8)$$

제안한 기법은 중간 값을 보존하기 때문에 히스토그램의 밝기 변화가 크게 나타나지 않는다. 하지만 이미지의 밝기 값이 밝은 부분은 더 밝게 어두운 부분은 더욱 어둡게 나타나는 특징을 볼 수 있다. 이 같은 문제를 해결하기 위해 히스토그램의 변환함수에 h (임계값)을 적용하여 이미지의 밝기 변화를 조절한다. 식(9)는 중간 값을 이용한 히스토그램 평활화 변환 함수를 나타낸 식이다

$$f_L(X_k \pm h) = X_0 + (X_{e-1} - X_0)C(X_k), \qquad k = 0,1,...,e-1$$

$$f_U(X_k \pm h) = X_e + (X_{L-1} - X_e)C(X_k), \qquad k = e, e+1, ..., L-1 \quad (9)$$

4.2. 엔드 인 탐색 방식

중간 값을 이용한 히스토그램 평활화는 과도한 이미지의 밝기 변화를 제어한다. 하지만 입력이미지의 히스토그램이 그림2와 같이 왼쪽 혹은 오른쪽에서 밀도가 높으면, 중간 값을 이용한 히스토그램 평활화만으로 최대 콘트라스트를 얻을 수 없다.

본 논문에서는 최대 콘트라스트를 얻기 위해 임계값을 사용한 엔드 인 탐색 방식을 사용하였다.

입력 이미지 히스토그램의 특징에 따라 최대 콘트라스트를 얻기 위해 임계값을 적용하였다. 어두운 이미지일 경우 +h를 적용하며, 밝은 이미지일 경우 -h를 적용한다. 히스토그램이 그림 1(a)와 같이 낮은 콘트라스트를 가지지만 가우시간 분포일 경우 임계 값을 적용하지 않는다.

$$Out(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } f(x) \le low \\ \dfrac{f(x) - low}{(high \pm h) - low} \times 255 & \text{for } low \le f(x) \le high \\ 255 & \text{for } high \le f(x) \end{cases} \quad (10)$$

4.3 제안한 방식의 처리 절차

본 논문에서 색을 보존하면서 콘트라스트를 증가 시키는 히스토그램 평활화 기법을 제안한다. 그림 3은 제안한 알고리즘의 순서를 나타낸 것이다.

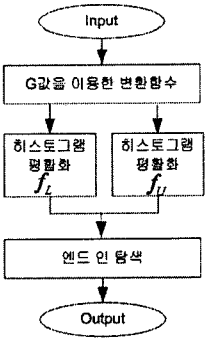
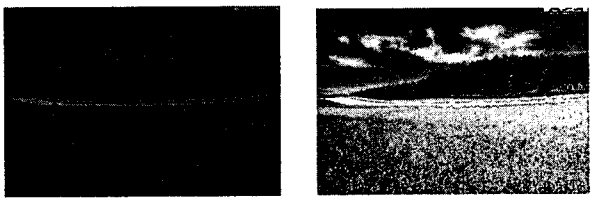
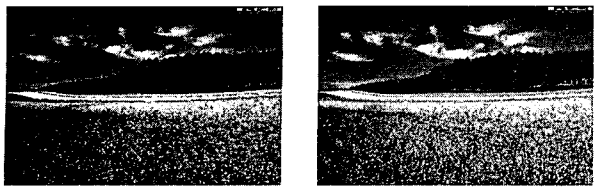


그림 3. 알고리즘 순서도

5. 결과 이미지

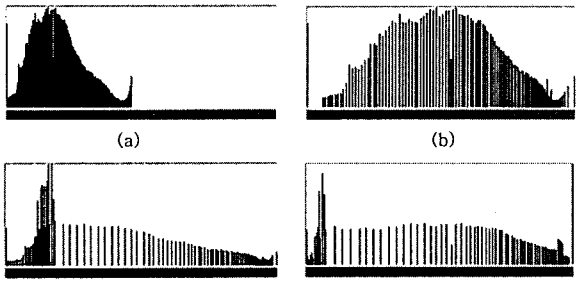


(a) (b)



(c) (d)

그림 4. 시뮬레이션결과 이미지 (a)원이미지 (b)히스토그램 평활화 후 이미지 (c)중간값을 이용한 히스토그램 평활화 후 이미지 (d)제안한 알고리즘 적용 이미지

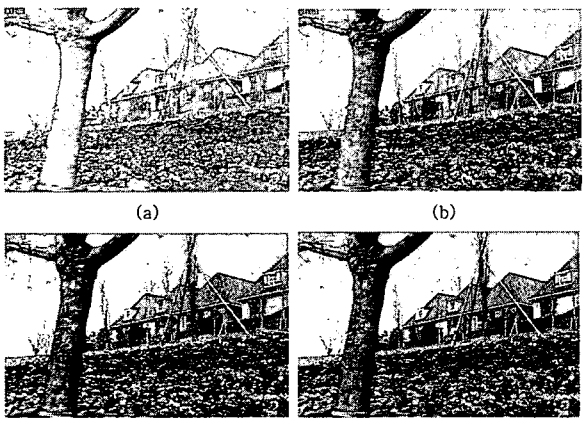


(a) (b)

(c) (d)

그림 5. 그림5의 히스토그램 (a)원이미지 (b)히스토그램 평활화 후 이미지 (c)중간값을 이용한 히스토그램 평활화 후 이미지 (d)제안한 알고리즘 적용 이미지

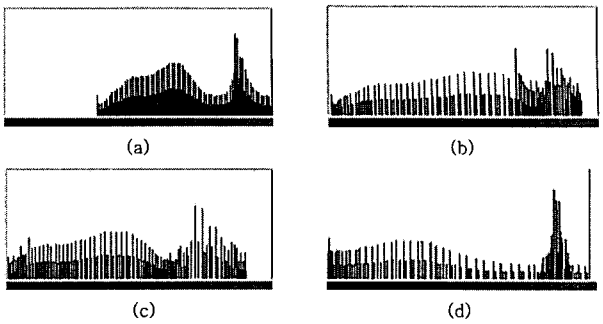
제안한 알고리즘의 성능평가를 위해 어두운 이미지와 밝은 이미지를 각각 적용해 보았다. 먼저 그림4(a)와 같이 콘트라스트가 낮고 히스토그램이 왼쪽에 집중되어 나타나는 어두운 이미지를 사용하였다. 히스토그램 평활화는 그림 4(b)와 같이 입력 이미지보다 넓은 콘트라스트 가지는 것을 볼 수 있다. 하지만 히스토그램의 오른쪽 밀도가 높아진 것을 볼 수 있다. 이러한 과도한 밝기변화를 제어하기 위해, 히스토그램의 중간 값을 사용하였다. 그림 4(c)는 중간 값을 보존하기 때문에 과도한 밝기 변화는 발생하지 않는다. 하지만 히스토그램의 왼쪽 밀도가 높아진 것을 볼 수 있다. 그림4(d) 색을 보존하며, 넓은 콘트라스트를 가지는 것을 볼 수 있다.



(a) (b)

(c) (d)

그림 6. 시뮬레이션결과 이미지 (a)원본이미지 (b)히스토그램 평활화 후 이미지 (c)중간 값을 이용한 히스토그램 평활화 후 이미지 (d)제안한 알고리즘 적용 이미지



(a) (b)

(c) (d)

그림 7. 그림 7의 히스토그램 (a)원본이미지 (b)히스토그램 평활화 후 이미지 (c)중간 값을 이용한 히스토그램 평활화 후 이미지 (d)제안한 알고리즘 적용 이미지

그림 6(a)와 같이 히스토그램이 오른쪽에 집중되어 나타나는 밝은 이미지를 사용하였다. 히스토그램 평활화는 그림 6(b)와 같이 과도한 밝기 변화를 가진다. 그림6(c)는 중간값을 보존하기 때문에 과도한 밝기 변화는 발생하지 않는다. 그림 6(d)는 색을 보존하며, 보다 넓은 콘트라스트를 가지는 것을 볼 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 컬러 이미지의 색을 보존하며 콘트라스트를 향상시키는 히스토그램 평활화 기법을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 어둡거나 혹은 밝은 이미지에 히스토그램 평활화 기법 적용 시 발생하는 색 재현 문제를 보완하고 과도한 밝기 변화를 제어한다. 검증한 이미지의 사이즈는 VGA이며 C로 시뮬레이션한 결과이다. 시뮬레이션 결과 최대 밝기 값의 10%가 임계값으로 적당했다. 본 논문에서는 최대 콘트라스트를 얻기 위해 입력 이미지의 히스토그램의 분포의 특징에 따라 임계값을 적용한다. 실시간 구현에 적용되기 위해서는 히스토그램의 특징의 구별이 선행 되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] Yu Wang , "Image enhancement based on equal area Dualistic Sub-Image Histogram equalization method", IEEE , 1999

[2] Yeong-Taeg Kim , "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization" , IEEE , 1996

[3] 최인석, 최명렬 외 2명, "개선된 적응형 콘트라스트 알고리즘 설계", 한국정보처리학회, 제 11권 제 1호, pp.731-734, 2004, 5

[4] Sarif Kumar Naik and C. A. Murthy , ""Hue-Preserving color image enhancement without Gamut problem" , IEEE , 2003

[5] Rafael C. Gonzalez , "Digital Image processing" , prentice- Hall, pp.88-102, 2002

[6] Randy Crane , "A simplified approach to image processing", Prentice Hall , pp54-59 , 1977