저대비 영상을 위한 영상향상 기법들의 비교연구

A Comparative Study on Image Enhancement Methods for Low Contrast Images

김용수, 김남진*, 이세열**
대전대학교 컴퓨터공학부, *삼성전자 정보통신총괄 무선사업부, **청운대학교 컴퓨터학과

Yong-Soo Kim, Nam-Jin Kim*, Se-Yul Lee**
Division of Computer Engineering, Daejeon University
*Mobile Communication Division, Telecommunication Network Business, Samsung Electronics
**Department of Computer Science, ChungWoon University
E-mail: kystj@dju.ac.kr, *namjin45.kim@samsung.com, **pirate@cwunet.ac.kr

Abstract

The principal objective of enhancement methods is to process an image so that the result is more suitable than the original image for a specific application. Images taken in the night can be low-contrast images because of poor environments. In this paper, we compare the structure of ICECA(Image Contrast Enhancement technique using Clustering Algorithm) with the structures of HE(Histogram Equalization), BBHE(Brightness preserving Bi-Histogram Equalization), and Multi-Scale Retinex(MSR). We compared performances of image enhancement methods by applying these methods to a set of diverse images.

Key Words : Image Enhancement, Low-contrast Image, ICECA, BBHE, HE, Retinex Theory, SSR, MSR

1. 서 론

영상 향상 기법 중 가장 널리 사용되어 온 방법은 히스토그램을 사용하여 영상의 동적 범위를 넓혀주거나 영상의 대비를 향상시켜주는 히스토그램 평활화(histogram equalization: HE) 기법이다[1]. 양분히스토그램 평활화(brightness preserving bi-histogram equaization: BBHE) 기법은 히스토그램 평활화 기법이 입력영상의 밝기(brightness)값을 변화시키는 문제점을 개선하였다[2]. BBHE는 명암도의 평균값을 사용하여 입력 영상을 양분하고 밝기성분을 보존한다. Land의 Retinex 이론은 색채 항등성 문제를 세 개의 독립적인 색채 처리 체계를 가정하고, 영상의 상대적 흑백도를 이용하여 색채 지각을 설명하려 하였다. Retinex 이론에 의하면 파장과 관련된 세 개의 흑백도 체계(단, 중, 장파에 각각 하나씩)를 이용하여 지각되는 색을 예측할 수 있다. Retinex라는 용어는 흑백도에 근거를 두고 색채를 표상하는 체계가 망막과 대뇌피질 사이에 존재한다는 이론의 가정을 토대로 Land가 만든 용어이다[3]. Rahman등은 Land의 Retinex 이론을 이용하여 인간 시각의 흑백도와 색채 항등성을 구현한 SSR(Single Scale Retinex), MSR(Multi Scale Retinex), MSRCR(Multi Scale Retinex with Color Restoration)을 개발하였다[4-7].

본 논문에서는 클러스터링 알고리듬을 이용한 영상 대비 향상(image contrast enhancement technique using clustering algorithm: ICECA) 기법과 칼라 영상 향상 기법들 중에서 대표적인 히스토그램 평활화 기법, BBHE기법, SSR기법, MSR기법을 왜곡되고 흐린 저대비 영상에 적용한 결과를 영상 해석적인 측면과 칼라 복원 능력면에서 비교하였다.

2. 영상 향상을 위한 기법들

2.1 양분 히스토그램 평활화

히스토그램 평활화 기법은 입력 영상의 밝기값을 변화시키는 문제를 야기 시킬 수 있다. BBHE 기법은 밝기값을 보존하면서 명암도를 동적인 범위로 평활화 시켜준다. BBHE 기법은 입력 영상을 평균값 X_m을 이용해서 두 개의 영상으로 나눈 후, 평균값보다 작으면 첫 번째 영상에 X_m보다 크면 두 번째 영상에 넣는다. 첫 번째 영상의 명암도는 0부터 X_m까지 두 번째 영상의

명암도는 X_m부터 L-1까지 각각 매핑시킨다. 첫 번째 결과 영상은 0부터 X_m까지 평활화되고 두 번째 결과 영상은 X_m부터 L-1까지 평활화 된다.

2.2 SSR(Single-Scale Center/Surround Retinex)

SSR(Single Scale Center/Surround Retinex)의 일반적인 형태는 DOG (difference of Gaussian)와 유사하다. SSR의 일반적인 형태는

$$R_i(x,y)=\log I_i(x,y)-\log[F(x,y)*I_i(x,y)] \quad i=1, ..., N$$

로 표현할 수 있다. $I_i(x,y)$는 i번째 스펙트럼 영역안의 영상의 분포를 말하며, N는 스펙트럼 밴드의 크기이며, 흑백 영상일 경우에는 N=1이고, 칼라 영상 경우에는 N=3, i ∈ R, G, B이다. *는 convolution 연산자이며, F(x, y)는 surround 함수

$$F(x,y)=Ke^{-r^2/c^2}$$

이며, c는 Gaussian surround space 상수 이다. 그리고, K는

$$\iint F(x,y)dxdy=1$$

를 만족하는 값이다. $R_i(x, y)$는 Retinex출력을 나타내며 칼라와 흑백도값을 명세화 해주는 Land의 세 쌍(단, 중, 장파)값을 산출하기 위해 각각의 스펙트럼 영역에서 수행한다. 그림 1은 center/surround 함수의 일반적인 형태를 보여 준다.

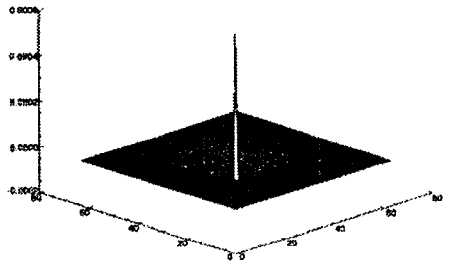

그림 1. center/surround retinex 연산자의 공간적인 형태[4]

2.3 MSR(Multi-Scale Center/Surround Retinex)

MSR은 몇몇 다른 SSR 출력의 가중치의 합으로 표현할 수 있다.

$$R_{MSR_i}=\sum_{n=1}^{N}W_nR_{n_i}$$

여기서 N은 크기를 말하며, RGB 영상일 경우에는 3이다. R_{ni}는 n번째 크기의 i번째 스펙트럼 성분이다. R_{MSRi}는 i번째 MSR 출력의 성분이다. W_n는 n번째 크기의 가중치 값이다. $R_n(x, y)$의 주변 함수는

$$F_n(x,y)=Ke^{-r^2/c_n^2}$$

이다. N을 3(c_n = 5, 20, 240)이라 하고, W_n = 1/3로 입력영상에 MSR한 결과이다. 주변 상수 값이 작을(c_n = 5)때는 입력영상의 에지 강조하고, 영상의 색조 정보를 잃어버리는 고주파 통과 필터의 효과를 가지며, 높을(c_n = 240)때는 훌륭한 색조 정보를 얻을 수 있는 반면, 에지가 흐려지는 저주파 통과 필터효과를 가진다. 중간(c_n = 20)일 때, 동적인 범위와 훌륭한 색조 정보를 얻을 수 있다. 결국 MSR의 결과는 세 가지 SSR 출력의 평균이다.

2.4 클러스터링 알고리듬을 이용한 영상 대비 향상 기법

인간은 시각 특성상 색차신호보다 밝기신호에 더 민감한 특성을 가지고 있다. MPEG-2하에서 밝기정보 Y와 색차정보 Cb, Cr의 세 가지 성분 비율이 4:2:2인 YUY2중에서 Y값만을 추출하여, K-means 알고리듬을 사용하여 교차점을 자동으로 선정한다. 이 최적의 교차점을 선정하는 과정은 획득한 영상을 물체와 배경으로 분리하는 두 개의 클래스 문제로 보고 K-means 알고리듬을 적용한다.

입력 영상X는 X_L, X_U로 분할된다. 분할된 영상에서 각각 명암도의 최소값을 M_l, M_u라 하고 최대값을 M_L, M_U라하고 할 때, X_L, X_U는

$$X=X_L\cup X_U$$

이고, 여기서

$$X_L=\{X(i,j)\,|\,X(i,j)\le M_l \text{ and } X(i,j)\ge M_L,\ \forall X(i,j)\in X\}$$

$$X_U=\{X(i,j)\,|\,X(i,j)>M_u \text{ and } X(i,j)\le M_U,\ X(i,j)\in X\}$$

이다. 그러면, X_A, X_B 에서 각각의 발생확률은

$$p_A(X_k)=\frac{n_A^k}{n_A},\ where\ k=M_a, M_{a+1}, \dots, M_A$$

$$p_B(X_k)=\frac{n_B^k}{n_B},\ where\ k=M_b, M_{b+1}, \dots, M_B$$

이다.

n_L^k, n_U^k 는 $\{X\}_L$, $\{X\}_U$,에서 X_k레벨의 명암도의 개수를 나타낸다. $\{X\}_L$, $\{X\}_U$의 전체 명암도를 갖는 픽셀의 개수는 n_L, n_U이다. n_L, n_U

$$n_L=\sum_{i=M_l}^{M_L}n_i$$

$$n_U=\sum_{i=M_u}^{M_U}n_i$$

이다. 그리고 $n=n_A+n_B$이다.

$\{X\}_A$, $\{X\}_B$ 각각의 누적된 확률은

$$C_L(x)=\sum_{i=M_l}^{M_L}p_L(X_i)$$

$$C_U(x)=\sum_{i=M_u}^{M_U}p_U(X_i)$$

이다. 정의에 의해서 $C_L(X_{M_l})=1$, $C_U(X_{M_U})=1$이다. 누적된 확률로 정규화 된 값을 입력 영상의 제안된 동적범위 전반에 걸쳐서 변환함수로 매핑시키는 것이다. 그러면 각각 두 개의 사상함수는

$$f_L(x)=CP*C_L(x)$$

$$f_U(x)=CP+(L-CP)*C_U(x)$$

이다. 그러면 마지막으로 제안된 기법에서 출력 영상은 Y는

$$Y=f(X)$$

$$=f_L(X_L)\cup f_U(X_U)$$

이고, 여기서

$$f_L(X_L) = \{f_L(X(i,j)) \mid \forall X(i,j) \in X_L\}$$
$$f_U(X_U) = \{f_U(X(i,j)) \mid \forall X(i,j) \in X_U\}$$

이다.

3. 실험 결과 및 성능 평가

NASA의 Langley Research Center에서 제공한 실험 영상(256 × 256)과 의료영상를 사용하여 HE, BBHE, ICECA, SSR, MSR기법 등에 적용한 결과를 영상 해석적인 측면과 칼라 복원 능력의 성능 비교를 하였다.

3.1 Retinex 이론을 이용한 영상 실험

SSR 영상 실험은 주변 상수값에 따른 영상의 향상 정도를 측정하고, 최적의 대비와 흑백도를 찾는데 목표가 있다. MSR 영상 실험은 각기 다른 주변 상수값을 이용해서 얻은 SSR출력의 평균의 합과 같다. 또한 MSR의 결과를 출력 영역으로 변화시키기 위한 gain/offset 조정은 각 스펙트럴 채널에 대하여 독립적이다. 표 1은 본 논문에서 MSR의 구현을 위해 사용된 상수들 나타낸다. 이때, G는 gain, b는 offset값을 의미한다.

표 1. MSR의 구현을 위해 사용된 상수들

Constant	N	C1	C2	C3	G	b	w_n
Value	3	5	20	240	175	-0.575	1/3

3.2 클러스터링 알고리듬을 이용한 영상 대비 향상 기법 실험

표 2는 K-means 알고리듬으로 구한 실험영상의 교차점을 보여준다.

표 2. 실험영상의 교차점 및 K-means 결과

Images	교차점			K-means 결과		
	red	green	blue	red	green	blue
영상(1)	51	30	23	1~91	2~66	0~51
	132	103	80	92~255	67~255	52~255
영상(2)	27	30	21	0~104	0~115	0~95
	182	201	170	105~255	116~255	96~255
영상(3)	2			0~19		
	36			20~194		

표 3은 각 방법별 특징 및 장·단점을 나타낸다. MSR 기법이 다른 영상 강화 알고리듬 보다 수행 속도는 느린 반면, 전반적인 영상 복원 능력이 뛰어나며, 인간의 시각시스템에 가장 가깝다는 것을 보여준다. 수행 속도의 면에 있어서는 ICECA가 MSR보다 빠른 것을 보여준다.

표 3. 영상향상 기법들의 특징 및 장·단점 비교

방법 / 비교분야	HE	BBHE	MSR	ICECA
밝기값 보존	Very Poor	Good	Excellent	Very Good
색채정보 보존	Poor	Poor	Very Good	Good
대비 강화	Very Good	Very Good	Excellent	Excellent
색채 복원	Fair	Fair	Very Good	Good
영상 해석	Good	Good	Excellent	Very Good
수행 속도	Excellent	Very Good	Poor	Good

4. 결 론

본 연구에서는 NASA의 Langley Research Center에서 제공한 실험 영상(256 × 256) 2개와 의료영상 1개를 사용하여 저대비 영상의 영상 향상 문제와 영상의 해석적인 측면, 색채 항등성을 유지 및 칼라 복원 능력을 ICECA 기법과 세 가지 다른 자동적인 영상 향상 기법인 HE 기법, BBHE 기법, MSR 기법 과의 비교를 통한 성능 분석을 보여준다. BBHE 기법과 ICECA 기법은 히스토그램 평활화 기법을 수정한 기법이다. 결국, BBHE 기법과 ICECA 기법은 입력 영상과 처리된 영상 사이의 관계가 LUT(single lookup table)로 설명할 수 있기 때문에 전역적(global)인 기법이다.

HE 기법은 영상의 엔트로피(entropy)를 최대로 하기 위한 가장 잘 알려진 기법중 하나이다. 입력 영상이 그레이 레벨일 경우, 입력 영상의 확률분포가 최대일 때, 영상의 엔트로피는 최대가 된다. 다만, HE기법을 칼라 영상에 적용할 경우 계단현상인 알리아싱 현상과 원 영상의 색채 정보를 잃어버린다. 또한 HE 기법은 입력 영상의 밝기값을 변화시켜는 문제점을 가지고 있다.

BBHE 기법은 입력 영상의 밝기값을 보존하면서 동적인 범위로 영상을 향상 시켜주는 반면 평균값을 이용해서 교차점을 선정한 결과 물체와 배경을 잘 분리해 내지 못한 결과를 낳았다. BBHE 기법도 HE 기법과 마찬가지고 칼라 영상에 적용할 경우 알리아싱 현상과 원 영상의 색채 정보를 잃어버리는 문제점을 낳았다. 또한 칼라 영상의 해석적인 측면과 색채 항등성을 잘 유지하지 못했다.

인간의 시각시스템은 넓은 동적인 범위와 색채 항등성을 유지할 수 있다. Retinex 이론은 세 개의 독립적인 색채 처리 체계를 가정하고, 영상의 상대적 흑백도를 이용하여 색채 지각을 설명하려 하였다. SSR 기법과 MSR 기법은 인간의 시각시스템을 모방하는 한 가지 접근 기법이다. SSR 기법은 주변 상수 값이 작을(c = 5)때는 입력영상의 에지를 강조하고, 영상의 색조 정보를 잃어버리는 고주파 통과 필터의 효과를 가지며, 높을(c = 240)때는 훌륭한 색조 정보를 얻을 수 있는 반면, 에지가 흐려지는 저주파 통과 필터효과를 가진다. 중간(c = 20)일 때, 동적인 범위와 훌륭한 색조 정보를 얻을 수 있다. 결국, MSR 기법의 결과는 세 가지 SSR 기법의 출력을 평균한 값이다. MSR 기법은 동시에 2개의 유용한 성질을 가지고 있다. 또한 MSR 기법은 영상의 전후 관계가 약한 구조와 공간적이고 스펙트럼한 조명과 같은 외래 변수에 관한 영상 표현 영상의 구조적인 특징의 의존성을 줄인다. MSR 기법은 외부 조명의 변화에 따른 색채 항등성을 유지 했다. MSR 기법이 다른 세 가지 영상향상 기법보다 칼라 영상 해석

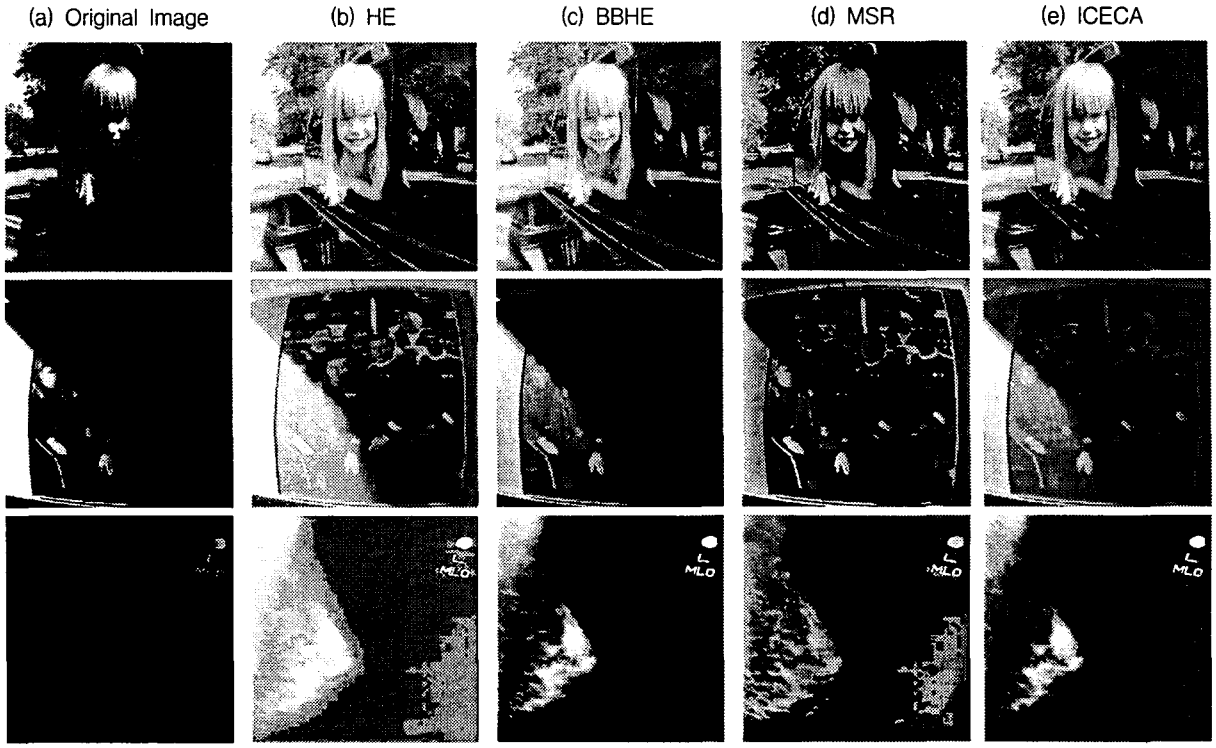

그림 2. ICECA와 주로 사용된 자동적인 영상향상 기법들과의 성능비교

과 색채 항등성 유지 및 동적인 범위로 압축이 잘 됨을 보여준다.

ICECA 기법은 클러스터링 알고리듬인 K-means 알고리듬을 이용해서 교차점을 선정한다. ICECA 기법으로 구한 교차점은 물체와 배경은 잘 분리해 내는 반면 교차점 선정시 알고리듬 수행시간이 다소 걸리는 문제점이 있다. 또한 칼라 영상에 적용할 경우 알리아싱 현상과 칼라 영상의 해석적인 측면인 색채 복원 능력도 떨어진다.

참고 문헌

[1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, second edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, 2002.

[2] Yeong-Taeg Kim, "Contrast Enhancement Us -ing Brightness Preserving Bi-Histogram Equa -lization," IEEE Transactions on Consumer Ele ctronics, Vol. 43, No. 1, pp. 1-8, 1997.

[3] E. Land, "Recent advances in retinex theory," Vision Research, Vol. 26, No. 1, pp. 7-21, 1986.

[4] D. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "Pro -perties and Performance of a Center/Surround Retinex," IEEE Transactions on Image Process -ing Vol. 6, No. 3, pp. 451-462, March 1997.

[5] Z. Rahman, G. A. Woodell, and D. Jobson, "A comparison of the mutiscale retinex with other image enhancement techniques," in Proceedings of the IS&T 50th Anniversary Conference, pp. 426-431, IS&T, 1997.

[6] Z. Rahman, G. A. Woodell, and D. Jobson, "Reti nex Processing for automatic image enhanceme nt," Journal of Electronic Imaging, Vol. 13, No. 1, pp. 100-110, January 2004.

[7] D. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "A Multiscale Retinex for Bridging the Gap Be -tween Color Images and the Human Observa -tion of Scenes," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 7, pp. 95-976, July 1997.