

색차 왜곡 방지를 위한 벡터투사 기반 언샤프 마스킹 기법

Unsharp masking based on the vector projection for removing color distortion

이광욱*, 단병규*, 김승균*, and 고성제**

Kwang-Wook Lee*, Byung-Kyu Dan*, Seung-Kyun Kim* and Sung-Jea Ko**

Abstract

Unsharp masking is a popular image enhancement technique used to sharpen an image appearance in gray images. However, the conventional unsharp making techniques amplify the noise and easily cause overshoot artifacts. Moreover, the unsharp masking tends to introduce color distortion when it is applied to the each color component independently. To solve these problems, we propose a novel unsharp masking technique based on human visual system and vector projection. The proposed algorithm consists of two steps. First, the proposed algorithm controls the level of sharpening by exploiting the characteristics of the human visual system and contrast region. Then the vector projection is applied to remove the color distortion. Experiment results show that our proposed algorithm successfully produces sharpened images that are free of noise and color distortion commonly found in the conventional unsharp masking algorithms.

요 약

언샤프 마스킹 기법은 회색조 영상의 화질 향상을 위해 널리 사용되는 영상 강화기법 중 하나이다. 하지만 언샤프 마스킹 알고리즘은 노이즈에 민감하며 오버/언더슈트 발생하여 영상을 열화시키는 문제가 있다. 또한 칼라 영상 성분에 기존 알고리즘을 그대로 적용하게 되면 영상에서 색차의 왜곡현상이 발생한다. 이러한 여러 가지 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 고급 언샤프 마스킹 알고리즘을 사용하여 색차왜곡 없이 영상의 경계를 강조하고 노이즈와 오버/언더슈트 문제를 해결한다. 제안하는 알고리즘은 오버/언더슈트와 노이즈 문제를 해결하기 위하여 인간의 시각적 특성과 영상의 지역적 색차 대비 특성을 이용하여 영상 강화의 단계를 조절하고, RGB영상과 HSI영상의 관계를 바탕으로 RGB의 벡터적 특성에 기반한 투사 방법을 이용하여 색차왜곡을 방지한다. 실험 결과는 제안하는 알고리즘이 성공적으로 경계 영상을 강조하는 동시에 타 알고리즘을 적용했을 때 발생하는 색차왜곡과 노이즈 및 오버/언더슈트 현상 없이 영상이 강조된다는 것을 확인할 수 있다.

Key words : Adaptive unsharp masking, vector projection, color distortion, human visual system

I. 서론

* 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정

** 고려대학교 전기전자전공학과 정교수, 교신저자

※ 본 연구는 서울시 산학협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠컨버전스 클러스터 지원으로 수행되었습니다.

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0080547)

LCD (Liquid Crystal Displays)로 대표할 수 있는 평판 디스플레이는 작은 크기와 저전력 소모로 인하여 최근 들어 점차 그 사용 영역을 넓혀가고 있다. 하지만 LCD는 PDP (Plasma Display Panel)나 CRT (Cathode-Ray Tube) 같은 다른 디스플레이 기기에 비해서 상대적으로 낮은 화질이 문제가 되어 이를 개선하기 위하여 여러 알고리즘이 꾸준히 개발되어왔다. 그 중 가장 대표적인 알고리즘이 바로 언샤프 마

스킹[1-6] 같은 영상 강조 알고리즘이다.

언샤프 마스크는 영상의 경계 개선을 위하여 연구되어온 가장 일반적인 화질 개선 알고리즘 중 하나이다. 언샤프 마스크는 입력 영상에 그 영상의 경계 영

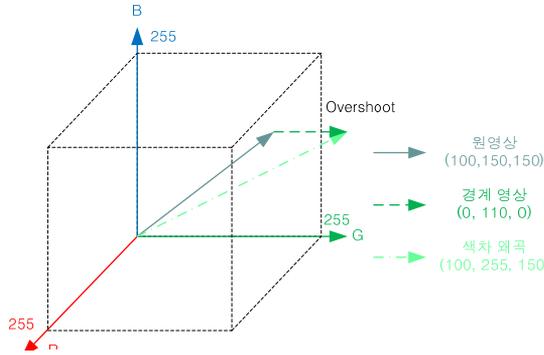


Fig. 1. Example of color distortion and overshoot artifact
그림 1. 색차왜곡과 오버슈트 예제

상 결과를 더하여 영상 전체의 경계성분을 강화하는 방법이다. 하지만 기존에 개발된 언샤프 마스크는 세 가지 대표적인 결점이 있다. 첫째, 언샤프 마스크는 노이즈에 민감하다는 것이다. 균등 영역에서 언샤프 마스크를 적용했을 때 고역 필터의 결과값이 존재하면 이 값에 의하여 결과 영상은 균등 영역에 노이즈가 가해진 영상같이 보이게 된다. 둘째, 고대비 영역에서 오버/언더슈트가 발생하기 쉽다는 것이다. 고대비 영역은 인접 하는 화소값의 차이가 큰 영역으로, 이 영역에 고역 필터를 적용하면 그 결과값이 매우 크다. 그래서 이 결과값을 원영상에 더하게 되면 그림 1과 같이 화소가 가질 수 있는 최대값인 255를 초과하거나, 최소값인 0에 미달하는 경우가 생긴다. 셋째, 언샤프 마스크를 각각의 RGB 색상 성분에 독립적으로 적용할 경우 색차왜곡이 발생한다. 기존의 알고리즘은 휘도 영상에 적용할 목적으로 만들어진 것으로 RGB 영상처럼 각각의 성분영상에 적용하는 상황은 고려하지 않고 개발되었다. 그 결과 각각의 RGB 성분영상에 언샤프 마스크를 적용하면 그림 1에서 보이는 것과 같은 색차왜곡이 발생하게 된다.

이러한 결점을 개선하기 위하여 다양한 연구가 이루어졌는데, 첫 번째 결점을 없애기 위하여 [2, 3, 12]에서는 다양한 비선형 필터를 사용하여 노이즈의 민감도를 줄이는 방법을 사용하였다. 이 방법들은 경계 영상을 구할 때 비선형 고역 필터를 사용하여 경계 영상의 결과값을 구하였다. 여기서 사용한 비선형 필터는 지역적 평균 가중치를 적응적 변수로 사용한 이차 필터이다. 이 비선형 필터링 방법을 통하여 경계

강화 영상에 노이즈가 추가되는 것을 성공적으로 방지하였다.

두 번째 결점인 오버/언더슈트 현상을 없애기 위하여 Vries[4]는 영상의 대비 영역을 세 영역으로 나누어

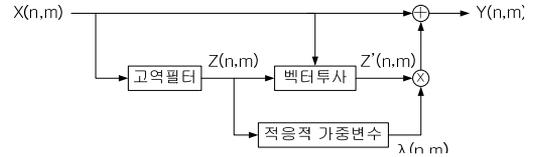


Fig. 2. The block diagram for proposed algorithm
그림 2. 제안하는 알고리즘 흐름도

각각 다른 가중 상수를 적용하는 방법을 사용하였다. 하지만 이 방법은 고대비 영역의 경계 부분에서 낮은 성능을 보이는 문제가 있다. 따라서 영상을 세 영역으로 나누어 처리하지만 가중 상수가 아닌 주변의 값에 따라 값이 변하는 가중 변수를 적용[5]하는 개선된 방법을 제안하여 경계 강화 영상의 오버/언더슈트 현상을 성공적으로 방지하였다. 그러나 이 방법에서도 언샤프 마스크의 세 번째 결점인 알고리즘을 RGB영역 각각에 적용했을 때 발생하는 색차왜곡을 개선하지는 못한다.

이를 개선하기 위하여 [6]은 RGB의 부화소 배열 [13]의 특성을 이용한 부화소 기반 에너지 분산 기법을 사용하여 색차 알고리즘을 보정하였다. 하지만 이 알고리즘도 색차의 왜곡을 줄이는 방안에 초점을 맞췄을 뿐 근본적으로 색차왜곡을 개선시키지는 못한다.

본 논문에서는 노이즈와 오버/언더슈트 현상에 강인하고, 경계 영상값의 추가로 인해 발생하는 색차왜곡을 보정할 수 있는 고급 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘은 그림 2와 같이 두 가지 영역으로 이루어져 있다. 첫 번째 영역은 인간의 시각 체계 (HVS)와 대비 영역의 특성을 반영해 노이즈에 강하며 오버/언더슈트의 발생을 방지하는 적응적 가중치 값을 결정하는 단계이며, 두 번째 영역은 RGB와 HSI의 상관관계를 이용하여 언샤프 마스크 시 발생하는 색차왜곡을 벡터 투사를 통해 보정하는 방법이다. 이를 위하여 섹션 II에서는 제안하는 알고리즘을 설명하였고 섹션 III는 실험 결과를 보여준다. 마지막으로 본 알고리즘에 대한 결론을 섹션 IV에서 제시한다.

II. 벡터 투사 언샤프 마스크

일반적인 언샤프 마스크로 얻는 결과 $y(m,n)$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$y(m,n) = x(m,n) + \lambda z(m,n), \quad (1)$$

$x(m,n)$ 는 원영상이며, 경계 영상 $z(m,n)$ 은

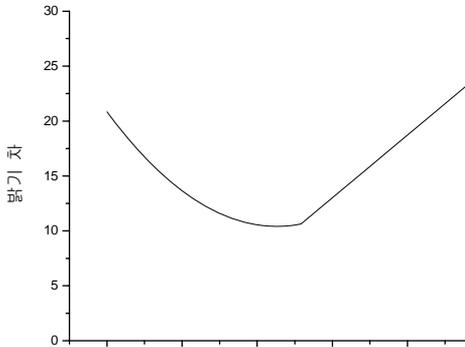


Fig. 3. Perceptivity of human eyes as a function of gray level of the background
 그림 3. 인간 시각의 밝기 민감도 곡선

$x(m,n)$ 에 고역 필터를 적용한 결과이다. λ 는 경계 영상의 강화 단계를 조절할 수 있는 0보다 큰 가중상수이다.

본 알고리즘은 가중상수 λ 를 HVS와 대비 영역의 특성을 반영한 적응적 변수로 바꾸어 사용하며, 경계 영상 $z(m,n)$ 으로 인해 발생하는 색차왜곡을 RGB와 HSI의 상관관계에 기반한 벡터 투사 기법을 통해 $z'(m,n)$ 으로 보정한다.

1. 적응적 가중변수

사람의 눈은 배경의 밝기가 중간 세기 정도에서 밝기의 차에 가장 민감하고 아주 밝거나 어두운 부분에서는 밝기의 변화에 둔감하다[10, 11]. 그림 3은 이러한 인간 시각의 밝기 특성을 그래프로 표현한 것이며 이를 통해 인간의 시각의 밝기 민감도를 알 수 있다. 그림 3에서 가로 축은 배경의 밝기값을 나타내며 세로축은 가로축의 밝기값이 배경의 밝기일 때, 인간의 시각은 얼마의 밝기의 차이가 나와 두 영역이 다르다는 것을 인지하는지를 나타내는 문턱값이다. 이를 통해, 배경이 어두운 부분과 밝은 부분에서 영상의 변화를 인지하기 위해서는 밝기의 차이가 커야 인지할 수 있으며, 중간 밝기 부분에서는 배경과 밝기의 차이가 적어도 변화를 인지하기 쉽다는 점을 알 수 있다. 이러한 특성을 바탕으로 본 알고리즘에서는

이 변화값을 정규화 하여 적응적 가중 변수에 적용하였다. 값의 차이에 둔감한 매우 밝은 부분과 매우 어두운 부분은 가중 변수를 크게 하고 값의 차이에 민감한 중간 강도의 밝기 부분은 가중 변수를 작게 하여 전반적으로 색차의 민감도를 일정하게 유지시켜주려 한다.

그림 3에서 표현하고 있는 HVS를 기반으로 한 색차 민감도 곡선을 정규화하여 수식으로 표현하면

$$\lambda(x) \approx \begin{cases} \frac{5}{12} \left\{ \frac{1}{113^2} (x-113)^2 + 1 \right\} & \text{if } x < 127, \\ \frac{1}{219} (x-255) + 1 & \text{if } x \geq 127, \end{cases} \quad (2)$$

가 된다. 여기서 x 는 입력 영상 화소의 밝기값이다.

이 적응 가중 변수를 사용하면 영상의 경계가 더 선명해지지만, 몇 가지 문제점이 존재한다. 우선 색차의 변화가 크지 않은 균등 영역에서 노이즈가 증폭되는 문제와, 고대비 영역 중 밝기 값이 큰 부분에서는 가중치 값이 크기 때문에 원영상과 고역 영상의 합이 0에서 255의 범위를 벗어나게 되는 오버/언더샷 문제가 있다.

이를 보완하기 위하여 본 논문에서는 영상을 대비의 강도에 따라 세 가지 영역으로 나누어 문제를 해결한다. 첫 번째로 영상의 경계 강조가 필요 없는 영역, 즉 색차의 변화가 거의 없어 고역 필터를 적용하면 오히려 노이즈가 증폭되어 보일 확률이 큰 저대비 영역. 두 번째는 색차의 변화가 너무 커서 오버/언더샷이 일어나기 쉬운 고대비 영역, 세 번째로는 보통의 대비를 가지고 있어 강조가 되어야 하는 일반 영역으로 나누었다. 이 대비 영역을 나누기 위하여 3×3 영역의 지역적 분산값을 구하여 정의하였고, 그 값이 높은 문턱값 이상의 경우에는 고대비 영역, 낮은 문턱값 이하의 영역에는 저대비 영역, 그 외의 경우에는 일반 영역으로 정의하여 앞에서 구한 HVS 정규화 곡선을 적용한 적응 변수에 가중치를 수정해준다. 이를 수식으로 쓰면

$$\lambda'(m,n) = \begin{cases} \alpha\lambda(x) & \text{if } Var(m,n) < \tau_1, \\ \lambda(x) & \text{if } \tau_1 \leq Var(m,n) < \tau_2, \\ \beta\lambda(x) & \text{if } Var(m,n) \geq \tau_2, \end{cases} \quad (3)$$

이 된다. $Var(m,n)$ 는 3×3 블록의 지역적 분산값을 나타내며, τ_1, τ_2 는 각각 높은 문턱값과 낮은 문턱값을 의미한다. 그리고 α, β 는 고대비 영역과 저대비 영역에서 강조 정도를 결정하는 1 이하의 가

중 상수이다. 결과 문턱값 τ 는 다음과 같이 구한다.

RGB색차 영역은 각각이 독립된 공간영역을 가지고 있으며 이 색차 영역은 하나의 3차원 벡터로 표현

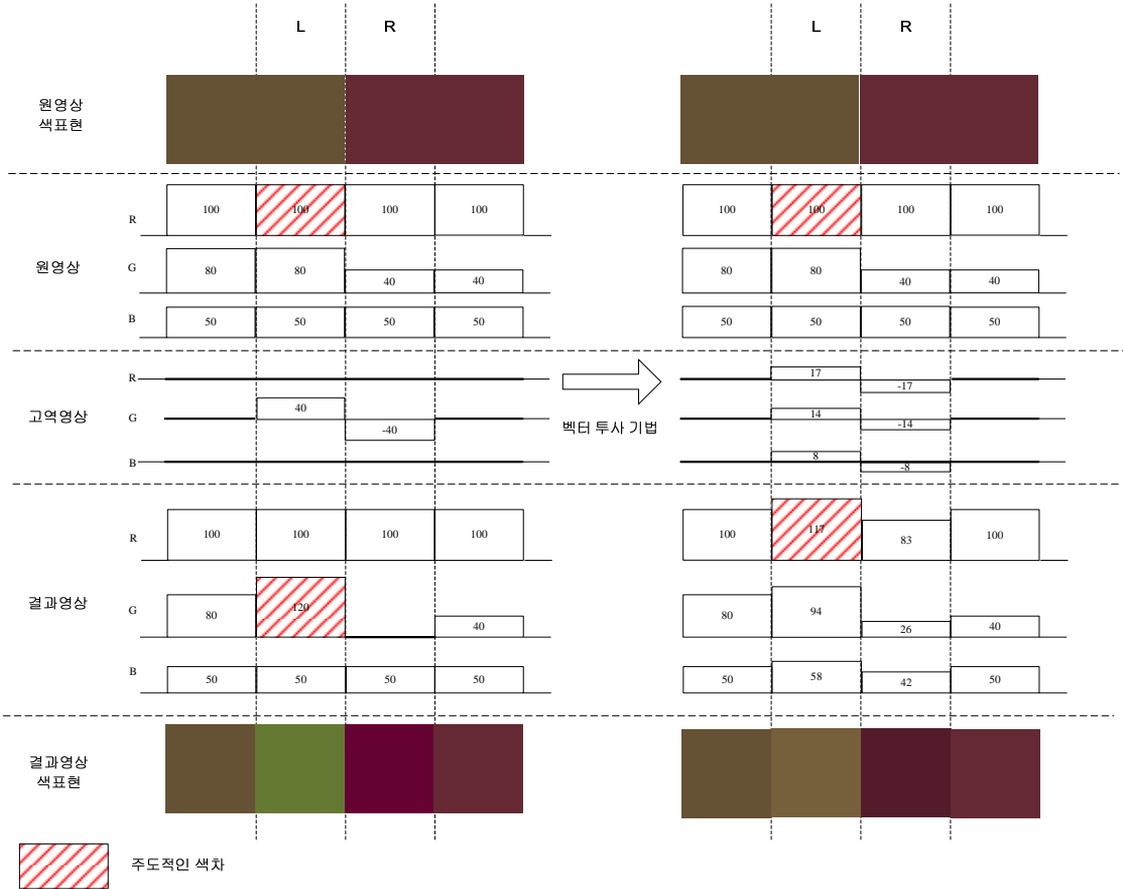


Fig. 4. Example of color distortion in unsharp masked image and using vector projection to remove the color distortion
 그림 4. 경계 영상값 적용 시의 결과 영상 예제

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{0.7}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} Var(m,n), \\ \tau_2 &= \frac{2}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} Var(m,n). \end{aligned} \quad (4)$$

2. 벡터 투사

앞에서 언급한 인체 시각 구조와 대비 영역의 특성을 반영하여 구한 적응적 가중치값을 경계 영상에 적용한 경계 강화 영상은 노이즈와 오버/언더샷 없이 만들 수 있었다. 하지만 RGB성분 각각에 해당 알고리즘을 적용했을 경우 발생하는 색차왜곡 문제는 여전히 존재하며 본 장에서는 이를 보완하기 위한 알고리즘을 제안한다.

할 수 있다[7, 8, 9]. 영상의 색차왜곡 문제는 언샤프 마스크 알고리즘이 해당 화소에 경계 영상값을 더했을 때, 원래 화소의 RGB의 벡터 각도와 경계 영상값을 더한 화소의 RGB의 벡터 각도가 달라짐으로써 생기는 문제이다. 본 장에서는 이런 벡터 각도의 왜곡을 고역 영상의 결과값에 원래 화소로의 벡터 투사방법을 사용하여 달라진 색차 벡터의 각도를 보정하여 색차왜곡의 발생을 억제하였다.

이 RGB의 벡터 각도는 HSI표현 방법 중 H성분을 표시하는 θ 와 의미하는 바가 같다. 그래서 본 알고리즘에서는 투사를 위한 θ 를 구하기 위해 RGB로 표현된 색상을 식(5) ~ (6)의 식을 사용하여 H로 변환하여 θ 를 구하였다.

계영상의 RGB가 이루고 있는 벡터이다. $a_R, a_G,$

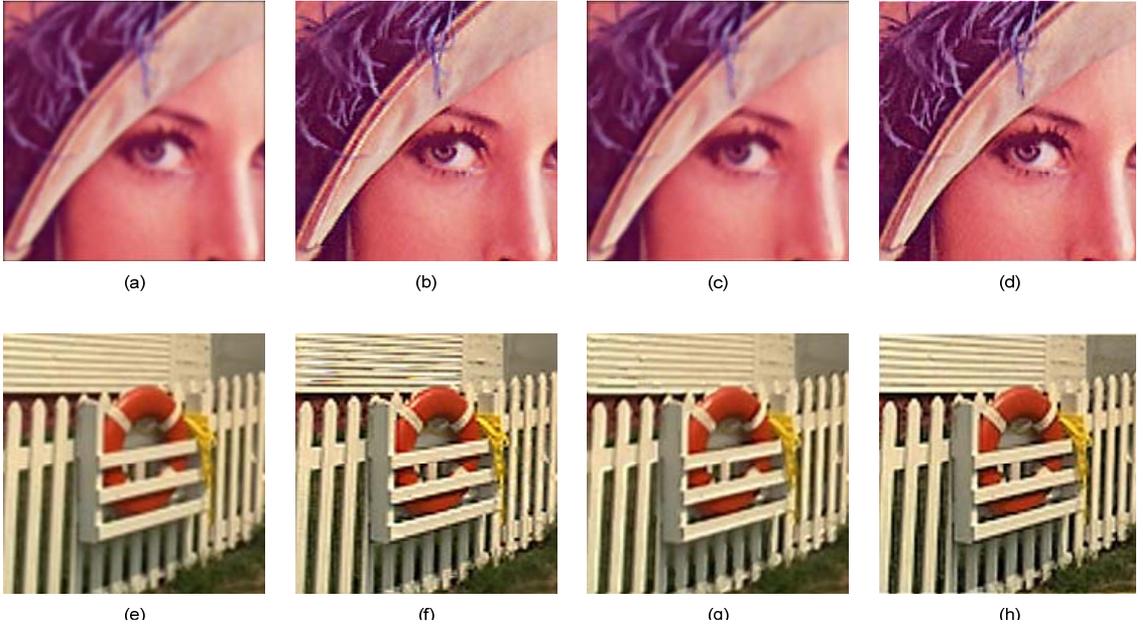


Fig. 5. Result of applying various unmasking algorithms to the lena and light house images: (a) and (e) the original images; (b) and (f) Polesel's algorithm results; (c) and (g) energy dispersion algorithm results; (d) and (h) proposed algorithm results.

그림 5. 실험 결과 (a), (e) 원영상, (b), (f) 적응적 가중 변수 결정방법 알고리즘 적용결과, (c), (g) 부화소 기반 에너지 분산 알고리즘 적용 결과, (d), (h) 제안하는 알고리즘

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G, \\ 360 - \theta & \text{if } B > G, \end{cases} \quad (5)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2} [(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}, \quad (6)$$

여기서 H는 색상 정보이며 θ 는 R, G, B 각각의 성분이 3차원 벡터 공간에서 이루고 있는 각도를 나타낸다.

이후 원영상 벡터와 경계 영상 벡터의 θ 를 보정하는 투사식은 다음과 같다.

$$b \cos \theta = \frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{|\mathbf{a}|} = \frac{a_R b_R + a_G b_G + a_B b_B}{\sqrt{a_R^2 + a_G^2 + a_B^2}}, \quad (7)$$

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{|\mathbf{a}|} \times \frac{\mathbf{a}}{|\mathbf{a}|} = \frac{a_R b_R + a_G b_G + a_B b_B}{a_R^2 + a_G^2 + a_B^2}, \quad (8)$$

\mathbf{a} 는 원영상의 RGB가 이루고 있는 벡터이고 \mathbf{b} 는 경

a_B 는 원영상 RGB의 스칼라 값이며, b_R, b_G, b_B 는 경계 영상 RGB의 스칼라 값이다. 이 식을 통하여 경계 영상의 RGB 벡터를 원래 영상의 RGB 벡터로 투사하여 그 결과를 원영상에 더해준다.

그림 4는 RGB 벡터 투사를 통하여 색차왜곡을 보정했을 경우를 예제를 통하여 설명한다. 좌측의 예제는 영상에 일반적인 언샤프 마스크를 적용했을 때의 결과를 보여준다. 간단한 예제를 위하여 화소의 [R, G, B]값이 [100, 80, 50]를 가지는 색에서 [100, 40, 50]의 값을 가지는 색으로 변화하는 구간을 설정하였다. 이 예제 구간에 언샤프 마스크를 적용하면 경계의 좌측 화소 위치인 L에서는 원래 색과 상관이 없는 녹색 성분이 강화되어 [100, 120, 50]의 값을 가지게 되어 화소의 주도적인 색차 성분이 녹색이 되어 색차 왜곡이 발생한다. 또한 우측 화소 위치 R에서는 녹색 성분이 크게 약화되어 [100, 0, 50]의 값을 가지게 된다. 반면, 벡터 투사를 적용한 결과인 우측의 예제에서는 얻어진 경계 화소값이 L 위치에서 [117, 94, 58], R 위치에서는 [83, 26, 42]의 값을 가지게 되어 원래 가지고 있는 주도적인 색의 경향성을 깨뜨리지 않고

더 진한 색을 가지게 됨으로써 경계 부분의 색상의 강도가 성공적으로 이루어진 것을 확인할 수 있다.

이러한 벡터 투사방법을 통하여 언샤프 마스크를 적용할 때, 원영상의 색차에 왜곡이 발생하지 않으면서 영상의 경계값을 강조해 줄 수 있다.

III. 실험 결과

본 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 여러 제안된 알고리즘과 성능을 비교하였다. 색깔 영상의 화질에 관한 평가 지표는 감성화질 평가[14, 15]나 ITU-T에서 제안한 ARC (Absolute Category Rating)[16, 17]등이 제시되어 있지만 이는 주관적인 평가 지표일 뿐 아직 모두가 인정할 수 있는 검증된 객관적 평가 기준은 아직 존재하지 않는다. 그래서 본 실험에서는 화질의 개선이 가시적으로 나타난 부분만을 분석하였다.

비교 알고리즘은 적응적 가중 변수 결정방법[5]과 부화소 기반 에너지 분산 알고리즘[6]이다. 실험 영상은 lena 영상과 light house 영상을 사용하였으며 영상이 열화된 상황을 나타내기 위하여 원영상을 bi-cubic 알고리즘으로 4배 확대한 후 해당 알고리즘을 적용하였다. 영상의 확장으로 인하여 원영상은 자연스럽게 영상이 열화된 상황을 나타낼 수 있다.

그림 5는 각 영상에 해당 알고리즘을 적용한 결과를 보여준다. 그림 5의 (a), (e)는 실험에 사용한 원영상을 나타낸다. (a) 영상은 고주파 대역과 저주파 영역이 골고루 잘 나와 있는 영상으로 각 알고리즘이 고주파 영역과 저주파 영역에 어떻게 적용되는지 보여주기 위하여 사용되었다. (e) 영상은 주로 고주파 영역으로 구성되었고 배경이 주로 하얀색으로 구성되어 알고리즘 적용시 발생하는 색차왜곡이나 오버/언더샷 현상을 쉽게 확인 할 수 있기 때문에 실험 영상으로 선택 하였다. (b), (f)는 Polesel이 제안한 적응적 변수를 사용한 알고리즘이다. 해당 알고리즘을 앞서 얘기했던 각각의 RGB성분에 적용한 결과 전체적으로 영상이 날카롭게 강화되었으나 경계를 이루는 부분이 밀집해 있는 (b) 영상의 머리카락 경계 부분이나 눈동자 부분, (f) 영상의 판자 부분에서 원래의 색과 차이가 발생하는 색차왜곡이 발생하였다. 특히 배경이 하얀 색이라 그 색차의 변화를 쉽게 알 수 있는 (b) 영상의 눈동자 부분과 (f) 영상의 판자에서 색차의 왜곡을 쉽게 발견할 수 있었다. 또한 경계 부분이 지글지글해지는 과문현상 역시 여러 군데서 발견할 수 있었다. 그림 5의 (c)와 (g)는 [6]에서 제안한 부화소 기반 에너지 분산 기법을 원영상에 적용한 결과이다.

적응적 가중 변수 결정방법을 적용했을 때 나타나는 색차왜곡이나 과문현상은 확연히 줄었다. 하지만 부화소 단위로 에너지를 분산하였기 때문에 색차왜곡의 발생 강도는 줄었지만 완벽하게 색차왜곡이 발생하지 않는다고 할 수 없다. 또 에너지 분산 기법의 특징인 언어진 경계 결과값에 이차적으로 저역 필터를 적용하는 방법으로 인하여 영상의 흐려짐 현상이 부가적으로 발생하기 때문에 경계영상의 개선 정도가 약하다. 반면 제안하는 알고리즘의 적용 결과인 그림 5의 (d), (h)는 색차왜곡이 전혀 발생하지 않았으며 화질 개선 측면에서도 다른 알고리즘 적용 결과에 비해 훨씬 선명한 결과를 얻었다. 특히 (h)영상의 우측 하단의 풀 부분이나 좌측 상단의 목조 벽면 같은 복잡한 경계 부분에서 색차왜곡이나 과문현상, 그 밖의 다른 노이즈 없이 선명한 영상을 얻을 수 있었다.

IV. 결론

본 알고리즘은 기존의 언샤프 마스크가 가지고 있는 노이즈 민감성, 오버/언더샷 현상, 그리고 색차왜곡 현상을 효율적으로 제거한다. 이를 위해 RGB 입력 영상에서 HVS와 대비 영역의 지역적 특성을 이용하여 적응적 가중치 변수를 결정함으로써 노이즈와 오버/언더샷 현상을 방지하였다. 그 후 경계 영상과의 합으로 인해 발생하는 색차왜곡을 RGB와 HSI의 상관관계에 기반한 벡터 투사 기법을 적용하여 보정하였다. 이를 통해 RGB 공간에서 언샤프 마스크를 적용했을 때 발생하는 색차왜곡과 노이즈와 오버/언더샷을 없앨 수 있게 하였다. 실험 결과는 이 알고리즘이 성공적으로 색차왜곡을 보완했을 뿐 아니라 노이즈와 오버/언더샷에서도 자유롭다는 것을 보여준다.

참고문헌

- [1] D. S. Messing and S. Daly, "Improved display resolution of subsampled colour images using subpixel addressing," *Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing*, vol. 1, pp. 625-628, Sep. 2002.
- [2] S. K. Mitra and H. Li, "A new class of nonlinear filters for image enhancement," *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing*, Toronto, vol. 4, pp. 2525-2528, May 1991.
- [3] G. Ramponi, N. Strobel, S. K. Mitra, and T. Yu, "Nonlinear unsharp masking methods for image contrast enhancement," *J. Electron. Imag.*, vol. 5, no. 3, pp. 353-366, Jul. 1996.
- [4] F. P. De Vries, "Automatic, Adaptive, Brightness

- Independent Contrast Enhancement," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 21, no. 2, pp. 169-182, Oct. 1990.
- [5] A. Polesel, G. Ramponi, and V. J. Mathews, "Image enhancement via adaptive unsharp masking," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, no. 3, pp. 505-510, Mar. 2000.
- [6] K. W. Lee, Y. S. Kim, S. H. Park, Suryanto, and S. J. Ko, "Effective color distortion and noise reduction for unsharp masking in LCD," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 54, no. 3, pp. 1473-1477, Aug. 2008.
- [7] P. E. Trahanias and A. N. Venetsanopoulos, "Color edge detection using vector order statistics," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 2, no. 2, pp. 259-264, Apr. 1993.
- [8] T. Carron and P. Lambert, "Color edge detector using jointly hue, saturation and intensity," *Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing*, vol. 3, pp. 977-981, Nov. 1994.
- [9] R. D. Dony, and S. Wesolkowski, "Edge detection on color images using RGB vector angles," *Proc. IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. Shaw Conference Center, Edmonton, Alberta, Canada, vol. 2, pp. 687-692, May 9-12 1999.
- [10] Y.-J. Chin and T. Berger, "A software-only video codec using pixel-wise conditional differential replenishment and perceptual enhancements," *IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 438 - 450, Apr. 1999.
- [11] R. J. Safranek and J. D. Johnston, "A perceptually tuned sub-band image coder with image-dependent quantization and post-quantization data compression," *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 3, pp. 1945-1948, May 1989.
- [12] G. Ramponi, "A cubic unsharp masking technique for contrast enhancement," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 67, no. 2, pp. 211-222, Jun. 1998.
- [13] S. Gibson, "Sub-pixel font rendering technology," <http://www.grc.com>.
- [14] M. Livingstone and D. Hubel, "Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception," *Science*, vol. 240, no. 4853, pp. 740-749, May 1988.
- [15] D. Hubel and M. Livingstone, "Segregation of form, color, and stereopsis in primate area 18," *Journal of Neuroscience*, vol. 7, pp. 3378-3415, Nov. 1987.
- [16] ITU-T, "Subjective video quality assessment methods for multimedia applications," *Recommendation ITU-T P. 910*, 2002.

- [17] VQEG, "Multimedia Group Test Plan," 2006.

저 자 소 개

이 광 욱 (학생회원)



2004년 : 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업 (공학사)
2004년 2월~현재 : 고려대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 석박사 통합과정
<주관심분야> 디지털 영상 처리, 비전 시스템

단 병 규 (비회원)



2006년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업 (공학사)
2008년 2월 : 고려대학교 대학원 메카트로닉스협동 (공학석사)
2008년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 메카트로닉스협동 박사과정

<주관심분야> 디지털 영상 처리, 동영상 코덱

김 승 균 (학생회원)



2005년 : 중앙대학교 전기전자공학부 졸업 (공학사)
2005년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 석박사 통합 과정
<주관심분야> 컴퓨터 비전, 객체 분할 및 추적

고 성 제 (비회원)

1980년 : 고려대학교 전자공학과
학사 졸업 (공학사)

1985년 : State Univ. of New
York at Buffalo 전기 및 컴퓨터
공학과 석사 졸업 (공학 석사)

1985년 : State Univ. of New
York at Buffalo 전기 및 컴퓨터
공학과 박사 졸업 (공학 박사)

1981년~1983년 : 대우통신 중앙연구소 연구원

1988년~1992년 : The Univ. of Michigan,
Dearborn 전기 및 컴퓨터공학과 조교수

1996년 11월 : IEEE APCCAS best paper award

1997년 12월 : 대한전자공학회 해동논문상 수상

1999년 11월 : 한국통신학회 LG 학술상

1997년 IEEE Seneior member

2000년 IEE Fellow

2004년 3월 : 고려대학교 훌륭한 공대

교수상(학술부문)

1992년 ~ 현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부
정교수

<주관심분야>비디오 및 3D영상처리,멀티미디어 통신