

논문 2008-45SP-4-6

영상 융합 기술을 이용한 색 번짐 개선 방법

(Color Transient Improvement Algorithm Based on Image Fusion Technique)

장 준 영*, 강 문 기**

(Joonyoung Chang and Moon Gi Kang)

요 약

본 논문에서는 대역 제한된 색도 신호에 의해 발생하는 색 번짐 현상을 TV 수신단이나 MPEG 디코더에서 효과적으로 개선하는 색 번짐 개선 방법을 제안한다. 비디오 영상 신호는 영상의 밝기 정보를 가지고 있는 한 개의 휘도 신호와 색상 정보를 가지고 있는 두 개의 색도 신호로 구성되어 있으며 사람의 눈이 미세한 면적에 대해서는 색의 변화를 거의 인식하지 못하는 점을 이용하여 색도 신호의 고주파 정보를 제한하고 있다. 하지만 HDTV와 같은 고화질 화상 제품이 생산됨에 따라 색 번짐 현상이 화질 저하의 요인으로 인식되기 시작하였다. 본 논문에서는 영상 융합 기술을 이용하여 색도 신호보다 더 많은 고주파 정보를 가지고 있는 휘도 신호의 고주파 성분을 이용하여 손상된 색도 신호의 고주파 성분을 추정하는 방법을 제안한다. 휘도 신호로부터 추출된 고주파 성분은 추정된 색도 신호와 원본 색도 신호 사이에 발생하는 에러의 l_2 -norm이 최소화 되도록 설계된 공간 적응적 가중치에 의해서 적절히 조절된 후에 입력 색도 신호와 결합되어 색 번짐이 개선된 색도 신호를 얻을 수 있게 한다. 제안하는 색 번짐 개선 방법은 색도 신호의 해상도를 휘도 신호의 해상도만큼 향상시키기 때문에 자연스러운 결과를 출력하며 또한 기존의 방법에서는 개선하기 힘들었던 좁은 경계에서의 색 번짐 현상도 효과적으로 개선한다. 실험 결과에서는 제안된 방법이 기존의 방법에 비해 시각적 및 수치적인 면에서 뛰어난 결과를 보임을 확인할 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose a color transient improvement (CTI) algorithm based on image fusion to improve the color transient in the television(TV) receiver or in the MPEG decoder. Video image signals are composed of one luminance and two chrominance components, and the chrominance signals have been more band-limited than the luminance signals since the human eyes usually cannot perceive changes in chrominance over small areas. However, nowadays, as the advanced media like high-definition TV(HDTV) is developed, the blurring of color is perceived visually and affects the image quality. The proposed CTI method improves the transient of chrominance signals by exploiting the high-frequency information of the luminance signal. The high-frequency component extracted from the luminance signal is modified by spatially adaptive weights and added to the input chrominance signals. The spatially adaptive weight is estimated to minimize the l_2 -norm of the error between the original and the estimated chrominance signals in a local window. Experimental results with various test images show that the proposed algorithm produces steep and natural color edge transition and the proposed method outperforms conventional algorithms in terms of both visual and numerical criteria.

Keywords : Color Transient Improvement (CTI), Image Fusion, Chrominance signal, Adaptive weight

I. 서 론

* 학생회원, ** 정회원-교신저자, 연세대학교 전기전자 공학과 TMS 정보 기술 사업단
(School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

* 본 연구는 서울시 산학협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠컨버전스 클러스터의 지원과 한국과학재단의 연세대 생체인식 연구센터(BERC)의 지원을 받아 이루어졌습니다.

접수일자:2008년3월31일, 수정완료일:2008년4월21일

기존의 아날로그 TV 방송 규격인 NTSC 및 PAL에서는 영상의 밝기 정보를 포함하는 휘도 신호와 영상의 색상 정보를 포함하는 색도 신호를 결합한 콤포짓(composite) 신호로 전송을 하였으며 색도 신호의 경우, 휘도 신호보다 좁은 대역폭이 할당되었다. NTSC에서

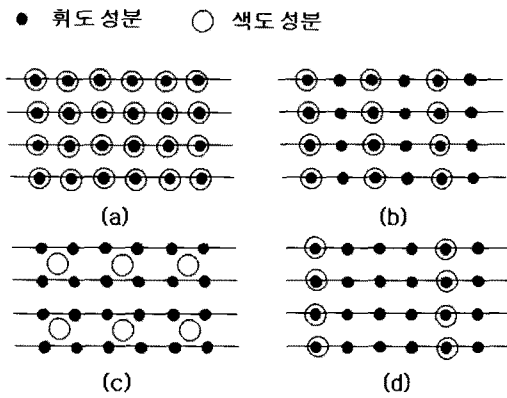


그림 1. 디지털 영상 신호에서의 휘도-색도 샘플링 표준 (a) 4:4:4 (b) 4:2:2 (c) 4:2:0 (d) 4:1:1
 Fig. 1. Luminance-chrominance sampling standard for digital video signal. (a) 4:4:4 (b) 4:2:2 (c) 4:2:0 (d) 4:1:1

는 휘도 신호에 4.2 MHz, 색도 신호에 1.0 MHz의 대역폭을 할당하고 있으며 PAL에서는 휘도와 색도 신호에 각각 5.5 MHz와 1.3 MHz를 할당하게 된다. 이렇게 휘도 신호와 색도 신호의 대역폭을 달리하는 이유는 인간의 눈이 미세한 면적에 대해서는 색채의 변화를 거의 느끼지 못하는 점을 이용하여 휘도 신호의 대역폭 안에서 색 정보를 함께 전송하기 위함이다.

사람의 눈이 색도 신호보다는 휘도 신호의 변화에 더욱 민감하다는 여러가지 주관적인 실험 결과^[1]를 바탕으로 색도 신호는 휘도 신호 보다 더 좁은 대역폭을 가져도 화질에 큰 영향을 주지 않는다는 것이 이 당시의 생각이었으며 이러한 생각은 JPEG과 MPEG과 같은 영상 압축 규격에까지 영향을 미쳐 이와 같은 압축 규격에서는 그림 1과 같이 4:1:1, 4:2:0 혹은 4:2:2와 같은 표본화(sampling) 표준을 두어 색도 신호의 정보를 손실 시킴으로써 압축 효율을 증대 시켰다. 일반적으로 다운 샘플링은 위신호 효과(aliasing effect)가 발생하지 않도록 하기 위하여 위신호 방지(anti-aliasing) 기법을 적용한 후에 이루어지기 때문에 디지털 비디오 신호의 색도 신호도 아날로그 비디오 신호에서와 마찬가지로 고주파 성분을 잃게 된다.^[2]

색도 신호를 소홀히 하던 화질 평가가 주를 이루던 시대에는 지금과 같은 고해상도 TV가 보편화 되지 않았을 때였고, 채널 잡음 등 여러가지 다른 결함(artifact)들에 가려서 색도 신호의 정보 손실이 이용자에게 잘 인식되지도 못했다. 하지만 HDTV와 같은 고화질 화상 제품이 생산되고 고해상도 영상에 대한 요구가 높아지고 있는 현재 시점에서는 심하게 손상된 색도

신호의 고주파 정보를 복원해야 할 필요성이 대두되었다. 화면이 SD에서 HD로 바뀌어 가면서 기존에 색도 신호에 가해진 과도한 저역 통과 필터링으로 인한 색 번짐 현상이 화질 저하의 요인으로 인식되기 시작했으며 이를 개선 할 수 있는 방법이 제안되기 시작하였다. 경계의 윤곽을 선명하게 하는 방법으로 선명화 방법(sharpening)이 있지만 이 방법은 과도하게 대역 제한된 색도 신호에서는 경계의 번짐(transient)은 크게 개선하지 못 하면서 울림현상(ringing artifact)까지 발생시킨다. 따라서 색도 신호에 적합한 방법이 개발되었고 이러한 방법을 색 번짐 개선(Color Transient Improvement : CTI) 방법이라고 부른다.^[3~6]

Rabi^[3]에 의해서 개발된 색 번짐 개선 방법은 2차 미분기를 사용하였다. Rabi는 2차 미분기를 사용할 때 발생하는 울림 현상을 문턱값을 사용하여 억제시켰으나 이 방법은 위에서 언급한 선명화 방법과 비슷한 방법으로, 색 번짐을 개선하는데 한계가 있다. Ohara^[4]는 색도 신호의 지연(delay)과 3탭의 중간값 필터를 이용하여 단순하고 계산량이 적은 색 번짐 개선 방법을 개발하였으며 Lin^[5~6] 등은 국부 최대, 최소값을 사용하여 울림 현상의 발생을 근본적으로 막았다. 이러한 국부 최대 최소값을 이용하는 색 번짐 개선 방법들은 영상의 계단 경계(step edge)에서는 울림 현상 없이 색 번짐을 효과적으로 개선을 하지만 선 경계(line edge)와 같은 얇은 경계에서는 출력 값을 국부 최소값과 국부 최대값 사이로 제한하기 때문에 효과적으로 색 번짐을 개선할 수 없다. 또한 두 개의 색도 신호에서 경계의 위치에 대한 기준 없이 별도로 경계를 세워주기 때문에 경계의 위치가 달라질 수 있는 문제점이 있다.

본 논문에서는 기존 방법의 문제점을 효율적으로 해결하기 위해 휘도 신호와 색도 신호의 상관 관계를 이용하여 색도 신호의 고주파 성분을 보상함으로써 색 번짐 현상을 효과적으로 개선하는 영상 융합 기반 색 번짐 개선 방법을 제안한다. 비디오 신호의 경우 색도 신호는 고주파 정보가 많이 줄어 있는 상태이지만 휘도 신호는 고주파 정보 손실이 거의 없다. 이러한 환경은 영상 융합 기법이 적용되는 원격 탐사(remote sensing) 분야에서 전색(panchromatic) 영상과 다중분광(multi-spectral) 영상이 가지는 특성과 유사하다고 할 수 있다.^[7~8] 원격 탐사 분야에서는 영상 융합 기술을 사용하여 고해상도 전색 영상으로부터 고주파 성분을 추출하여 저해상도 다중분광 영상의 해상도를 증가시키게 되는데, 제안하는 방법에서도 이와 유사한 방법을

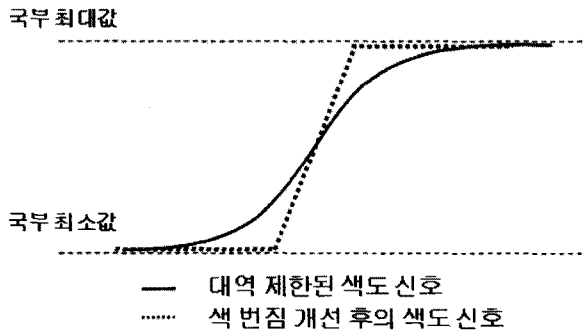


그림 2. 기존의 색 번짐 개선 방법
Fig. 2. The concept of conventional CTI algorithms.

비디오 신호에 적용시켜 휘도 신호로부터 추출된 고주파 성분과 적절히 변형하고 색도 신호에 결합하여 색 번짐이 개선된 고해상도의 영상을 얻을 수 있게 한다. 제안하는 색 번짐 개선 방법은 색도 신호의 해상도를 휘도 신호의 해상도만큼 향상시키기 때문에 자연스러운 결과를 얻을 수 있으며 또한 기존의 방법에서는 개선하기 힘들었던 좁은 경계에서의 색 번짐 현상도 효과적으로 개선한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 색 번짐 개선 방법에서 사용되었던 기본적인 방법에 대해서 설명한다. III장에서는 휘도-색도의 상관 관계를 이용하여 색 번짐 현상을 개선하는 영상 융합 기반 색 번짐 개선 방법 설명하고 이어서 영상 융합 기반 색 번짐 개선 방법으로부터 얻어진 색도 신호의 안정성을 위해서 추정된 색도 신호를 보정하는 보정 방법을 설명한다. IV장에서는 제안된 색 번짐 개선 방법을 다양한 영상에 적용한 실험 결과와 기존의 방법과의 비교를 보이고 V장에서는 결론을 제시한다.

II. 기존의 색 번짐 개선 방법

그림 2는 기존에 사용되고 있는 색 번짐 개선 방법의 기본적인 개념을 나타낸 그림이다. 기존의 방법^[5-6]의 경우 색도 신호의 일정 범위 안에서 국부 최소값과 국부 최대값을 찾는다. 그 후에 최소값에 가까운 부분은 최소값에 더욱 가깝게 그리고 최대값에 가까운 부분은 최대값에 더욱 가깝게 붙여줌으로써 색도 신호의 경계를 세워주게 된다. 이렇게 처리 할 경우 출력 결과의 값을 국부 최소값과 국부 최대값 사이에 제한하여 울림 현상의 발생 원인을 근본적으로 막을 수 있으며 국부 최소값과 국부 최대값 사이의 서서히 변하는 영역의 기울기를 높여줌으로 두 영역의 경계를 뚜렷하게 해 주어

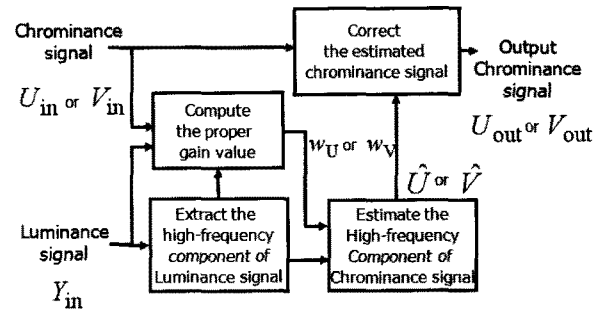


그림 3. 제안하는 색 번짐 개선 방법의 블록도
Fig. 3. Block diagram of the proposed CTI method

색 번짐 현상을 줄일 수 있다. 하지만 기존의 방법은 선 경계(line edge)와 같은 얇은 경계에서도 출력 값을 국부 최소값과 국부 최대값 사이로 제한하기 때문에 얇은 경계에서는 효과적으로 색 번짐을 개선할 수 없으며 각 색도 신호 별로 경계의 위치가 변하여 잘못된 색(false color)이 발생될 수도 있다.

III. 제안하는 색 번짐 개선 방법

1. 제안된 방법의 전체 구조

그림 3은 제안하는 색 번짐 개선 방법의 전체 블록도이다. 제안하는 색 번짐 개선 방법은 두 개의 단계로 구분할 수 있다. 첫 번째 단계는 제안하는 방법의 주 방법으로 영상 융합 방법을 사용하여 휘도 신호의 고주파 성분으로부터 색도 신호의 고주파 성분을 복원한다. 그림 3에서 휘도 신호의 고주파 성분을 추출하는 부분과 이 고주파 성분을 공간 적응적 가중치를 이용하여 적절히 색도 신호의 고주파 성분을 추정하는 부분이 이에 해당된다. 두 번째 단계는 보정(correction) 방법으로 추정된 색도 신호를 입력 색도와 적절히 결합하여 주 방법에서 색도 신호의 고주파 추정 시 발생할 수 있는 에러를 최소화 시키는 역할을 한다.

2. 영상 융합 기반 색 번짐 개선 방법

본 논문에서는 YUV 좌표계를 기준으로 설명을 진행할 것이지만 제안하는 색 번짐 개선 방법은 YCbCr 좌표계를 비롯한 모든 휘도-색도 좌표계의 색도 신호에 적용 가능하다. 제안하는 색 번짐 개선 방법은 두 개의 색도 신호에서 그 처리 방법이 동일하기 때문에 YUV 좌표계의 U, V 채널 중 U 채널을 중심으로 수식을 전개해 나갈 것이다. 또한 제안하는 방법은 1차원적으로 수행되기 때문에 수식 전개 중 중복을 피하기 위하여 수평 방향으로의 처리를 기본으로 하였다.

가. 색도 신호 고주파 성분의 추정

디지털 비디오 신호와 아날로그 비디오 신호에서는 색도 신호의 고주파 성분이 많이 손실되어 있다. 고주파 성분을 잃기 전, U 채널의 원본 색도 신호를 U_{orig} 라고 하면 U_{orig} 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$U_{orig} = HF\{U_{orig}\} + LF\{U_{orig}\} \quad (1)$$

여기서 $HF\{U_{orig}\}$ 는 원본 색도 신호의 고주파 성분을 의미하고 $LF\{U_{orig}\}$ 는 원본 색도 신호의 저주파 성분을 의미한다. TV 수신 단이나 MPEG 디코더의 입력 색도 신호의 경우 고주파 성분이 손실된 채 들어오기 때문에 $LF\{U_{orig}\}$ 를 입력 색도 신호인 U_{in} 으로 나타낼 수 있으며, U_{orig} 의 고주파 성분인 $HF\{U_{orig}\}$ 을 손상된 고주파 정보인 U_{hlf} 로 나타낼 수 있다. U_{in} 과 U_{hlf} 을 이용하여 U_{orig} 를 다시 표현하면 다음과 같다.

$$U_{orig} = U_{hlf} + U_{in} \approx \hat{U} \quad (2)$$

여기서 \hat{U} 는 추정된 색도 신호를 의미하며 U_{in} 과 U_{hlf} 는 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{aligned} U_{in} &= LF\{U_{orig}\} = lpf_U * U_{orig} \\ U_{hlf} &= HF\{U_{orig}\} = U_{orig} - LF\{U_{orig}\} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 lpf_U 는 방송 규격 혹은 압축 규격에 따라서 U_{orig} 에 적용되는 저역 통과 필터를 의미하며 $*$ 는 컨볼루션(convolution) 연산자이다. 색도 신호의 고주파 성분을 복원하여 색 번짐 현상이 개선된 신호인 \hat{U} 을 얻기 위해서는 U_{hlf} 를 정확히 추정하여야 한다. 본 논문에서는 U 채널의 손실된 고주파 정보인 U_{hlf} 를 휘도 신호의 고주파 성분과 공간 적응적인 가중치를 이용하여 다음과 같이 모델링 한다.

$$\begin{aligned} U_{hlf} &= w_U \cdot HF\{Y_{in}\} \\ &= w_U \cdot [Y_{in} - LF\{Y_{in}\}] \\ &= w_U \cdot [Y_{in} - lpf_U * Y_{in}] \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 w_U 는 공간 적응적인 가중치를 의미하고 $HF\{Y_{in}\}$ 는 휘도 신호의 고주파 성분을 의미한다. 휘도 신호의 고주파 성분은 식 (3)에서와 마찬가지로 입력 신호에서 저주파 성분을 빼준 것으로 정의할 수 있으며 휘도 신호의 저주파 성분 $LF\{Y_{in}\}$ 은 U_{orig} 에 적용되어 U_{in} 을 생성하는 데 사용한 저역 통과 필터인 lpf_U 을 이용하여 구한다.

제안하는 색 번짐 개선 방법에서는 식 (4)에서와 같이 휘도 신호의 고주파 성분으로부터 색도 신호의 고주파 성분을 추정하게 되는데, 휘도 신호의 고주파 성분이 전부 색도 신호의 고주파 성분이 되는 것은 아니기 때문에 공간 적응적 가중치 w_U 를 사용하여 휘도 신호의 고주파 성분을 필요한 만큼만 색도 신호에 반영하게 된다. w_U 는 휘도 신호와 색도 신호의 상관관계가 높을 경우에는 휘도 신호의 고주파 성분을 충분히 보상하여 색도 신호에 반영을 하게 되며 휘도 신호와 색도 신호의 상관관계가 낮을 경우에는 색도 신호의 고주파 성분을 추정하는 데 필요 없는 고주파 성분이 휘도 신호에 존재하는 것이므로 0에 가까운 값을 가져 잘못된 휘도 신호의 고주파 성분이 색도 신호에 반영되는 것을 막게 된다.

식 (4)를 식 (2)에 대입하면 고주파 성분이 복원된 U 채널의 색도 신호 \hat{U} 을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\hat{U} = w_U \cdot HF\{Y_{in}\} + U_{in} \quad (5)$$

이를 화소 단위로 다시 적으면 다음과 같다.

$$\hat{U}(i,j) = w_U(i,j) \cdot HF\{Y_{in}(i,j)\} + U_{in}(i,j) \quad (6)$$

여기서 (i,j) 은 영상의 세로와 가로 픽셀 위치를 의미한다.

나. 공간 적응적 가중치의 결정

앞에서도 언급했듯이 제안하는 방법에서는 공간 적응적 가중치 w_U 를 결정하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 추정된 색도 신호 \hat{U} 가 최대한 원본 색도 신호인 U_{orig} 에 가깝게 추정되어야 하므로 \hat{U} 와 U_{orig} 사이에 발생하는 에러의 l_2 -norm이 최소가 되도록 공간 적응적 가중치를 결정한다. \hat{U} 와 U_{orig} 사이에 발생한 에러를 e_U 로 정의 하면 에러의 l_2 -norm은 다음과 같이 표현 된다.

$$\|e_U\|^2 = \|U_{orig} - \hat{U}\|^2 \quad (7)$$

여기서 식 (6)을 식 (7)에 대입하고 (i,j) 좌표를 중심으로 한 L 크기의 수평 방향 윈도우를 사용하여 l_2 -norm을 국부적으로 계산하면 다음과 같이 $w_U(i,j)$ 에 대한 코스트 함수(cost function)인 $C\{w_U(i,j)\}$ 을 얻을 수 있다.

$$C\{w_V(i, j)\} = \|e_V\|^2 = \sum_{l=j-\frac{L}{2}}^{j+\frac{L}{2}} [U_{orig}(i, l) - U_{in}(i, l) - w_V(i, l) \cdot \{Y_{in}(i, l) - Y_L(i, l)\}]^2 \quad (8)$$

여기서 Y_L 은 $LF\{Y_{in}\}$ 을 의미하며 수식을 간단하게 하기 위해서 사용되었다. 공간 적응적 가중치를 결정하기 위해서 식 (8)에서 $C\{w_V(i, j)\}$ 를 최소화하는 $w_V(i, j)$ 값을 찾는다. $C\{w_V(i, j)\}$ 는 $w_V(i, j)$ 에 대한 2차 함수이므로 식 (8)을 미분하여 $C\{w_V(i, j)\}$ 을 최소화하는 $w_V(i, j)$ 값을 찾을 수 있다.

하지만 이러한 방식으로 $w_V(i, j)$ 을 결정하는 데에는 두 가지의 문제점이 있다. 첫 번째 문제는 윈도우 안에서 화소 위치에 따라 $w_V(i, l)$ 값이 변하여 그 값을 알 수 없다는데서 발생하는 문제로, 이로 인해 $w_V(i, j)$ 을 구하기가 어려워진다. 두 번째 문제는 원본 색도 신호 U_{orig} 값을 가지고 있지 않기 때문에 실제로 사용할 수 없다는 것이다. 이러한 두 가지의 문제점 때문에 식 (8)을 $w_V(i, j)$ 을 구하기 위해 바로 사용할 수 없다.

본 논문에서는 위에서 언급한 첫 번째 문제를 해결하기 위해서 일정 윈도우 안에서는 $w_V(i, l)$ 의 값은 거의 비슷하여 변하지 않는다는 가정을 하였다. 이러한 가정을 하면 식 (8)에서 그 값을 알 수 없었던 이웃 화소들의 $w_V(i, l)$ 값을 중심 화소의 $w_V(i, j)$ 값으로 대체할 수 있게 된다. 두 번째 문제는 원본 색도 신호 U_{orig} 를 실제로 사용할 수 있는 신호로 대체하여 해결하였다. 실제로 사용할 수 있는 색도 신호 중에서 가장 해상도가 높은 색도 신호는 입력 색도 신호인 U_{in} 이기 때문에 U_{orig} 를 U_{in} 으로 대체한다. 하지만 U_{orig} 를 U_{in} 으로 대체하기 위해서는 식 (8)에 사용된 다른 신호도 이에 맞는 신호로 함께 대체하여야 한다. 원본 색도 신호를 U_{orig} 에 저역 통과 필터인 lpf_V 를 적용한 U_{in} 신호로 대체 하였으므로 다른 신호에도 lpf_V 필터를 적용하여 열화 시킨다. 이와 같은 열화 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} U_{in} &= lpf_V * U_{orig} \\ U_L &= lpf_V * U_{in} \\ Y_L &= lpf_V * Y_{in} \\ Y_{LL} &= lpf_V * Y_L \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 U_L 과 Y_L 과 Y_{LL} 은 각각 U_{in} 과 Y_{in} 과 Y_L

을 열화 시킨 신호를 의미한다. 여기서 열화 되기 전 신호를 식 (9)와 같이 열화 된 신호로 대체할 수 있는 이유는 다음과 같다. 예를 들어, Y_{in} 과 U_{orig} 사이에 일정한 상관관계가 있다면 이를 똑같은 방식으로 열화 시킨 신호인 Y_L 과 U_{in} 사이에도 이와 유사한 상관관계가 존재할 것이라고 생각할 수 있다. 따라서 휘도 신호와 색도 신호가 어느 정도 상관관계가 있는지를 판단하여 수치화 시키는 가중치 $w_V(i, j)$ 은 Y_{in} 과 U_{orig} 를 사용하여 구한 경우와 Y_L 과 U_{in} 을 사용하여 구한 경우와 유사하다고 할 수 있는 것이다.

식 (8)에서 $w_V(i, l)$ 값을 중심 화소의 $w_V(i, j)$ 값으로 대체하고 식 (8)에 있는 신호를 식 (9)에서 생성한 신호로 대체하여 사용하면 식 (8)은 다음과 같이 $C'\{w_V(i, j)\}$ 으로 재정의 할 수 있다.

$$C'\{w_V(i, j)\} = \sum_{l=j-\frac{L}{2}}^{j+\frac{L}{2}} [U_{in}(i, l) - U_L(i, l) - w_V(i, j) \cdot \{Y_L(i, l) - Y_{LL}(i, l)\}] \quad (10)$$

$C'\{w_V(i, j)\}$ 을 $w_V(i, j)$ 으로 미분하여 최소가 되는 $w_V(i, j)$ 값을 찾으면 $w_V(i, j)$ 은 다음과 같이 결정된다.

$$w_V(i, j) = \frac{\sum_{l=j-\frac{L}{2}}^{j+\frac{L}{2}} \{U_{in}(i, l) - U_L(i, l)\} \cdot \{Y_L(i, l) - Y_{LL}(i, l)\}}{\sum_{l=j-\frac{L}{2}}^{j+\frac{L}{2}} \{Y_L(i, l) - Y_{LL}(i, l)\}^2 + pc} \quad (11)$$

여기서 pc 는 분모가 0이 되는 것을 막기 위해서 사용된 0보다 큰 상수를 의미한다.

식 (11)에서 구한 공간 적응적 가중치를 이용하여 식 (6)에 대입하면 휘도 성분의 고주파 정보로부터 색도 신호의 고주파 정보를 복원하여 색 번짐을 개선한 결과를 얻을 수 있다. 영상 융합을 기반으로 색 번짐을 개선한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{U}(i, j) &= \\ U_{in}(i, j) + w_V(i, j) \cdot \{Y_{in}(i, j) - Y_L(i, j)\} \end{aligned} \quad (12)$$

3. 보정 방법

제안하는 색 번짐 개선 방법은 휘도 신호의 고주파 정보를 이용하여 색도 신호의 색 번짐을 효과적으로 개선하지만 휘도신호에 불필요한 고주파 정보가 큰 경계 주변에 존재할 경우 보상 할 필요가 없는 휘도 신호의 고주파 정보까지도 색도 신호에 반영이 되는 경우가 있다. 따라서 이러한 경우에 에러가 발생하지 않도록 제안하는 방법은 보정 방법도 함께 사용한다.

앞에서도 설명했듯이 색 번짐 현상의 기본적 생각은 그림 2에서와 같이 국부 최대값에 가까운 부분은 더욱 국부 최대값에 가깝게, 또 국부 최소값에 가까운 부분은 더욱 국부 최소값에 가깝게 하는 것이다. 만약에 휘도 신호의 고주파 정보를 참고하여 복원한 색도 신호에 이와 같은 현상을 거스르는 곳이 있다면 이러한 부분은 에러가 될 가능성이 높다. 따라서 이러한 부분만을 찾아서 보정 방법을 수행하게 된다.

보정 방법에는 식 (12)에서 얻어진 \hat{U} 와 원본 신호 U_{in} 이 사용되며 U_{in} 신호의 일정 윈도우 안에서 탐색한 국부 최대값과 최소값도 함께 사용한다. 색도 신호의 경우 기본적으로 고주파 성분이 많지 않고 U_{in} 신호의 경우 과도한 대역 제한으로 인해 고주파 성분이 제거되어 있기 때문에 국부 최대값과 최소값을 찾을 때는 색도 신호를 표본 줄임(down-sampling)하여 탐색하는 방법을 적용해 계산량을 줄인다.

보정 방법은 \hat{U} 에 에러가 발생할 경우 다음과 같이 입력 신호인 U_{in} 를 결합하여 에러를 제거한다.

$$U_{out}(i,j) = \begin{cases} \frac{a_1 \cdot U_{in}(i,j) + a_2 \cdot \hat{U}(i,j)}{a_1 + a_2}, & \text{if } s\{U_{in}(i,j) - m\} \neq s\{\hat{U}(i,j) - m\} \\ \hat{U}(i,j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

여기서 $s\{x\}$ 은 x 값의 부호를 반환하는 함수이며 a_1 과 a_2 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} a_1 &= 1 - a_2 \\ a_2 &= \frac{\min\{\max_V - U_{in}(i,j), U_{in}(i,j) - \min_V\}}{0.5 \cdot (\max_V - \min_V)} \end{aligned} \quad (14)$$

여기서 \max_V 는 국부 최대값을 의미하고 \min_V 는 국부 최소값을 의미한다. 그리고 식 (13)의 m 은 \max_V 와 \min_V 의 평균값을 의미한다. 보정 방법은 U_{in} 과 \hat{U} 값이 국부 최대값과 최소값의 중간 값인 m 값을 기준으로 최대값 쪽이나 최소값 쪽에 함께 있지 않을 경우

에 수행된다. 예를 들어 U_{in} 이 국부 최대값에 가까울 경우는 \hat{U} 값이 더욱 최대값 쪽으로 가까워져야하는데 만약에 최소값 쪽에 가깝게 추정될 경우에는 이를 에러로 판단해 보정 방법이 수행된다. 그리고 보정 방법은 U_{in} 과 \hat{U} 값이 m 값을 기준으로 해서 반대방향으로 멀리 떨어져 있을수록 U_{in} 값에 해당하는 가중치를 높여 안정화시키도록 동작한다.

IV. 실험 결과

제안된 방법의 성능을 검증하기 위하여 다양한 영상에 제안하는 방법을 적용하였다. 객관적인 성능 평가를 위하여 입력 영상을 NTSC 표준 영상이나 4:1:1 샘플링 표준으로 변환하여 열화 된 색도 영상을 얻은 후, 제안하는 색 번짐 개선 방법을 적용하여 원본 색도 신호와의 Peak-to-peak Signal to Noise Ratio(PSNR) 값을 수치적으로 계산하였다. 주관적인 성능 평가는 2가지 방법으로 제시하였다. 첫 번째는 영상에서 경계가 존재하는 부분을 1차원 단면도로 제시하여 제안된 방법 적용 전과 후를 비교하였으며 두 번째로는 제안하는 방법을 적용한 전체 영상을 비교하여 본 방법의 효과를 볼 수 있게 하였다. 기존의 방법과 성능을 비교하기 위하여 본 논문에서는 ACTI^[5] 방법과 제안하는 색 번짐 개선 방법을 비교하였다.

그림 4에는 1차원 신호를 나타내었다. 열화되기 전의

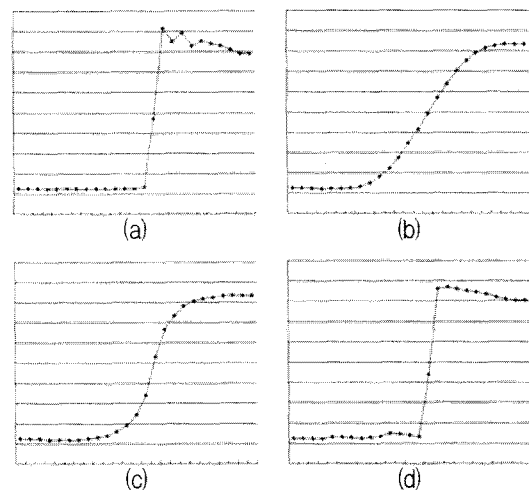


그림 4. 색 번짐 개선 실험 결과 (4:1:1 표준) (a) 원본 영상 (b) 블러된 영상 (c) ACTI (d) 제안된 방법

Fig. 4. Color transient improvement results (4:1:1) (a) Original image (b) Blurred image (c) ACTI (d) Proposed method

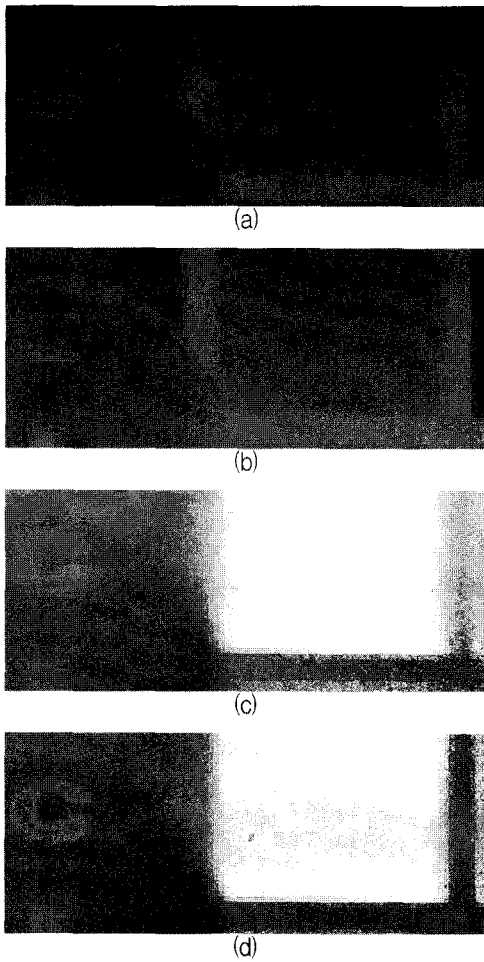


그림 5. 색 번짐 개선 실험 결과 (4:1:1) (a) 블러된 U 채널 신호 (b) 제안된 방법 적용 결과 (c) 블러된 V 채널 신호 (d) 제안된 방법 적용 결과
 Fig. 5. Color transient improvement results (4:1:1) (a) Blurred U channel signal (b) Proposed method (c) Blurred V channel signal (d) Proposed method

원본 색도 신호는 그림 4(a)이고 대역 제한된 블러된 색도 신호는 그림 4(b)와 같이 블러된 형태를 가진다. 그림 4(c)는 ACTI 방법의 결과이며 ACTI 방법의 경우 색도 신호만을 이용하여 색 번짐을 개선한다. 그림에서 확인할 수 있듯이 경계가 세워지긴 했지만 아직 경계가 무너져 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(d)의 그림을 보면 제안하는 방법에서는 휘도신호의 고주파 성분을 이용하여 색도 신호의 경계를 세워주게 됨으로 원본에 가까운 결과를 얻을 수 있음을 볼 수 있다.

그림 5에는 제안하는 방법의 효과를 U 채널과 V 채널에서 직접 관찰한 그림을 나타내었다. 그림에서 확인할 수 있듯이 제안하는 색 번짐 개선 방법을 수행하면 색도 신호에서의 고주파 성분이 복원되어 경계가 선명해지는 것을 확인할 수 있다.

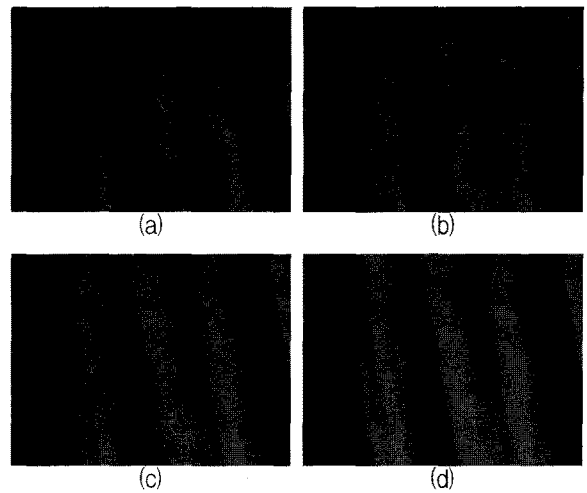


그림 6. 색 번짐 개선 실험 결과 (NTSC) (a) 원본 영상 (b) 블러된 영상 (c) ACTI (d) 제안된 방법
 Fig. 6. Color transient improvement results (NTSC). (a) Original image (b) Blurred image (c) ACTI (d) Proposed method

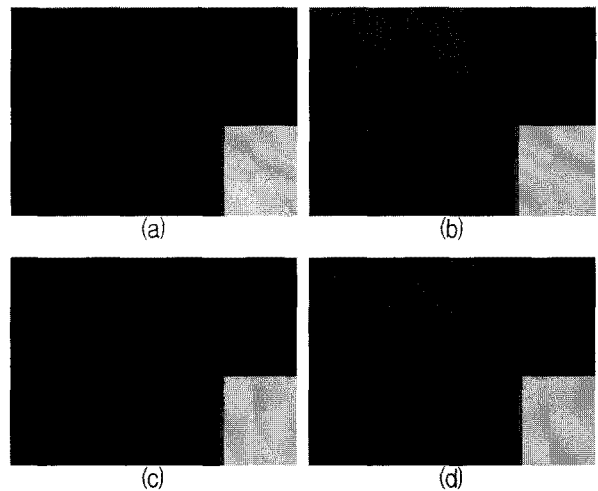


그림 7. 색 번짐 개선 실험 결과 (4:1:1) (a) 원본 영상 (b) 블러된 영상 (c) ACTI (d) 제안된 방법
 Fig. 7. Color transient improvement results (4:1:1) (a) Original image (b) Blurred image (c) ACTI (d) Proposed method

그림 6과 그림 7에는 실제 영상에서의 결과를 제시하였다. 그림 6에는 기존의 방법에서는 색 번짐 현상이 잘 제거되지 않는 선 경계(line edge)의 영역을 나타내었다. 그림 6(c)를 보면 기존의 방법은 출력 신호를 국부 최대값과 최소값에 제한하기 때문에 콘트라스트가 이미 낮아진 선 경계에서 색 번짐 현상을 거의 개선하지 못하는 것을 볼 수 있다. 하지만 제안하는 방법으로 처리된 그림 6(d) 영상을 보면 휘도 신호의 고주파 성분을 이용하여 검은 선 경계에서 붉은 색으로 발생한 색 번짐을 효율적으로 개선하는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 입력 영상과 ACTI 방법 결과와 제안한 방법으로 얻은 결과의 PSNR 비교

Table 1. The PSNR comparisons of input images and the results of ACTI and the proposed method

영상	실험 포맷	채널	입력 신호	ACTI	제안된 방법
red car	NTSC	U	36.7594	37.0916	37.5834
		V	29.9923	31.383	33.2937
red thread	NTSC	U	34.8428	36.6673	36.9908
		V	27.0587	29.047	30.1549
color bar	4:1:1	U	25.5414	27.9199	31.7099
		V	24.1549	27.0765	37.1301
color pattern	4:1:1	U	40.3419	42.865	46.073
		V	38.6135	41.4035	43.7625

그림 7에서는 계단 경계에서의 색 번짐 현상 개선 효과를 살펴볼 수 있다. 그림 7(b)를 보면 붉은 색 색 성분에 검은 색의 무채색 성분이 서로 섞여서 영상의 붉은 부분에 색이 번진 것을 확인할 수 있다. 그림 7(c)를 보면 ACTI 방법에서도 색 번짐이 개선되는 것을 확인할 수 있는데 색 번짐 현상이 아직 남아있는 것을 알 수 있다. 그림 7(d)를 보면 제안하는 방법에서는 ACTI에서 남아있던 색 번짐 현상이 많이 개선된 것을 확인할 수 있다.

표 1에는 실험에 사용된 영상과 실험을 진행한 실험 포맷 및 블러된 입력 영상과 ACTI 방법과 제안하는 방법의 PSNR을 채널 별로 비교한 결과를 나타내었다. 표에 표기된 PSNR 수치를 비교하면 제안하는 방법이 기존의 방법에 비해서 수치적으로도 평균 2.5dB 향상된 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다. 특히 휘도 신호와 색도 신호의 상관 관계가 높은 "color bar" 영상이나 "color pattern" 영상에서는 휘도 신호의 고주파 성분을 효율적으로 색도 신호에 결합하여 원본에 충실한 영상을 출력하는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 영상 융합 기법에 기반 한 색 번짐 개선 방법을 제안하였다. 제안된 색 번짐 개선 방법에서는 대역 제한되어 잃어버린 색도 신호의 고주파 성분을 영상 융합 기법을 통해 휘도 신호의 고주파 성분으로부터 추정하여 보상하였다. 휘도 신호의 고주파 성분은 공간 적응적으로 결정된 가중치에 의해 적절히 변형되어 색도 신호의 고주파 성분을 복원하게 되며 보정 방법은 추정된 색도 신호를 보정하여 에러를 발생시키지

않도록 하였다. 실험 결과에서는 제안하는 색 번짐 개선 방법이 효과적으로 색 번짐 현상을 개선하여 보다 선명한 고화질의 영상을 얻어내는 것을 확인하였으며 수치적으로도 기존의 알고리즘에 비해 평균 2.5dB 향상된 결과를 생성하는 것을 확인하였다. 주관적인 실험 결과와 객관적인 실험 결과를 바탕으로 제안하는 방법이 기존의 방법 보다 뛰어난 결과를 보임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] A. M. Tekalp, "Digital Video Processing", Prentice Hall Signal Processing, Upper Saddle River, 1995.
- [2] "Recommendation ITU-R BT.601-5, Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios", ITU-T, 1995.
- [3] K. Rabii, "Chroma noise reduction and transient improvement", Patent US4935806, June, 1990.
- [4] K. Ohara, "Digital color transient improvement", Patent US5920357, July, 1999.
- [5] P. Lin and Y. T. Kim, "An Adaptive Color Transient Improvement Algorithm", *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 37, No 3, May 1999.
- [6] 장준영, 강문기, "경계 특성에 기반 한 색 번짐 개선 방법", 정보 및 제어 학술대회, 청풍리조트 레이크 호텔, 2007년 10월
- [7] J. H. Park and M. G. Kang, "Spatially adaptive multi-resolution multi-spectral image fusion", *Int. J. Remote Sens.* 25(23), 5491-5508, Dec. 2004.
- [8] J. C. Price, "Combining multispectral data of differing spatial resolution," *IEEE Trans. Consum. Electron.* 49(4), 1199-1203, May. 1999.

저 자 소 개



장 준 영(학생회원)

2004년 연세대학교 전기전자
공학과 학사 졸업

2006년 연세대학교 전기전자
공학과 석사 졸업

2006년~연세대학교 전기전자
공학과 박사과정

<주관심분야 : 잡음제거, 순차주사화, 움직임 추정 및 보상>



강 문 기(정회원)-교신저자

1986년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업.

1988년 서울대학교 전자공학과
석사 졸업.

1994년 Northwestern University
박사 졸업.

1994년~1997년 Assistant Professor.

(University of Minnesota, Duluth)

1997년~1999년 연세대학교 전기전자공학과
교수.

1999년~2004년 연세대학교 전기전자공학과
부교수.

2004년~연세대학교 전기전자공학과 정교수.

<주관심분야 : 영상복원, 초해상도 영상복원, 비선형 필터링, 비디오 분석 및 처리 부화소단위의 움직임 추정>