

일반논문-08-13-1-19

디지털 비디오 카메라용 보색 필터를 위한 에지 적응적 색상 보간 방법

한영석^{a)}, 강희^{a)}, 강문기^{a)†}

Edge-adaptive demosaicking method for complementary color filter array of digital video cameras

Youngseok Han^{a)}, Hee Kang^{a)}, and Moon Gi Kang^{a)†}

요 약

보색 필터는 저조도 환경에서 좋은 감도와 잡음을 가지고 있으며, 방송 시스템에서 사용되는 비월주사 방식과 호환이 가능하기 때문에 일반 사용자 수준의 디지털 비디오 카메라에 널리 사용된다. 그러나 보색 필터로부터 획득된 완전컬러 영상은 거짓색상과 지퍼효과와 같은 색상 잡음에 의하여 화질열화가 발생한다. 이러한 잡음들은 원색 필터에서 일반적으로 사용되는 에지 적응적 색상 보간 방식을 사용함으로써 없앨 수 있지만, 보색 필터의 특유한 패턴 때문에 원색 필터에서 사용되는 방식을 그대로 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 보색 필터에 알맞은 에지 적응적 색상 보간 방식을 적용하는 것이 중요한 과제 중 하나이다. 본 논문에서는 보색 필터를 위한 새로운 에지 적응적 색상 보간 방식을 제안한다. 에지 방향을 정확하게 추정하고 재현된 영상의 품질향상을 위해 분산의 함수가 가중치로 사용되었고, 여러 방향의 에지 성분을 고려하기 위해서 새로운 색상 변환 행렬이 제시되었다. 실험 결과를 통하여 제안된 방식이 기존의 방식보다 뛰어난 성능을 나타냄을 확인할 수 있다.

Abstract

Complementary color filter array (CCFA) is widely used in consumer-level digital video cameras, since it not only has high sensitivity and good signal-to-noise ratio in low-light condition but also is compatible with the interlaced scanning used in broadcast systems. However, the full-color images obtained from CCFA suffer from the color artifacts such as false color and zipper effects. These artifacts can be removed with edge-adaptive demosaicking (ECD) approaches which are generally used in primary color filter array (PCFA). Unfortunately, the unique array pattern of CCFA makes it difficult that CCFA adopts ECD approaches. Therefore, to apply ECD approaches suitable for CCFA to demosaicking is one of the major issues to reconstruct the full-color images. In this paper, we propose a new ECD algorithm for CCFA. To estimate an edge direction precisely and enhance the quality of the reconstructed image, a function of spatial variances is used as a weight, and new color conversion matrices are presented for considering various edge directions. Experimental results indicate that the proposed algorithm outperforms the conventional method with respect to both objective and subjective criteria.

Keyword : Demosaicking, digital video camera, complementary color filter array, edge direction.

1. 서 론

a) 연세대학교 전기전자공학과 TMS 정보 기술 사업단
School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

† 교신저자 : 강문기(mkang@yonsei.ac.kr)

※ 본 연구는 한국과학재단의 연세대 생체인식연구센터(BERC)의 지원으로 이루어 졌습니다 (R01-2005-000-10934-0).

대부분의 디지털 영상 획득 장치들은 단위 면적당 센서의 수가 제한되어 있어 공간 해상도에 제한적이다^[1]. 더욱

이 컬러 영상의 경우, 제조 비용 절감과 칩 사이즈의 축소를 목적으로 완전 컬러 센서 대신에 하나의 센서를 사용한다. 따라서 색상 정보를 획득하기 위해 센서 위에 모자이크 패턴을 갖는 컬러 필터를 위치 시키고, 이로부터 센서의 각 화소는 이웃한 화소와 다른 색상 정보를 얻게 된다. 이를 이용하여 현재 화소에 없는 색상 정보는 이웃한 화소로부터 추정하고, 이러한 과정을 색상 보간이라 한다.

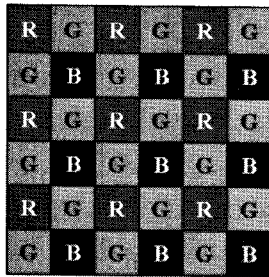


그림 1. 원색 필터 배열.
Fig 1. The primary color filter array.

많은 컬러 필터 배열 중에 원색 필터와^[2] 보색 필터가^[3] 가장 널리 사용된다. 원색 필터는 그림 1과 같이 원색(Red, Green, Blue)성분을 사용하고, 보색 필터의 경우는 그림 2와 같이 보색(Cyan, Magenta, Yellow)성분과 하나의 원색(Green)을 사용한다.

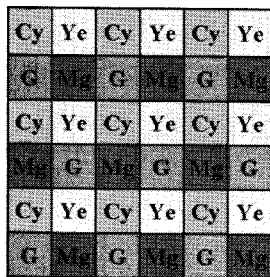


그림 2. 보색 필터 배열.
Fig 2. The complementary color filter array.

원색 필터는 뛰어난 색상 재현성을 가지고 있으며, 이로 인해 디지털 카메라에 널리 사용된다^[4]. 반면에 보색 필터는 저조도 환경에서도 좋은 감도와 잡음률을 가지고 있으며, 이는 영상 시퀀스가 저장 될 때 좋은 결과를 나타낸다. 따라서

보색 필터는 디지털 비디오 카메라에 널리 사용된다^[4].

지난 수년간 색상 보간을 위해 많은 방식들이 연구 되었지만, 대부분의 방식들은 원색 필터를 위해 개발 되었다^{[5][10]}. 더욱이 보색 필터의 경우 그림 2와 같이 G, Mg와 Mg, G 배열 패턴이 번갈아 반복되는 특이한 구조 때문에 색상 잡음을 제거하는데 효과적인 에지 적응적 접근에 어려움을 갖고 있다. 반면에 그림 1과 같이 원색 필터의 경우에는 배열 패턴이 규칙적으로 반복되기 때문에 에지 적응적 접근이 비교적 쉽다. 이는 원색 필터에서 사용되는 에지 적응적 방식이 그대로 보색 필터에 사용될 수 없음을 의미한다. 기존의 보색 필터를 위한 색상 보간 방식^[3]은 덧셈, 뺄셈의 간단한 연산을 이용하여 하나의 밝기 정보와 두 개의 색상 정보를 추정하고 색상 변환 행렬을 이용하여 이를 원색 성분으로 변환한다. 하지만 기존의 방식은 에지 방향성과 패턴을 고려하지 않기 때문에 결과 영상은 지퍼 효과(zipper effect)와 거짓 색상 값 같은 시각적 열화가 발생한다^[11].

본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하고 해상도를 증가시키기 위해서 새로운 색상 보간 방식이 제안되었다. 우선 센서로부터 획득된 값을 이용하여 현재 화소가 평탄 영역에 포함 되어 있는지 에지 영역에 포함되어 있는지 판단한 후, 각 영역에 다른 색상 보간 방식을 취한다. 평탄 영역에서는 에지 방향성이 고려되지 않는 간단한 방식을 취하는 반면에 에지 영역에서는 에지 방향성이 추정되고 이를 이용하여 색상 보간이 수행된다. 이 과정에서 에지 적응적 색상 보간 방식을 도입하기 위해 보색 필터의 불규칙적인 패턴은 규칙적인 패턴을 갖는 신호로 먼저 변환된다. 또한 효과적인 색상 보간을 위해 분산의 함수가 가중치로 사용되었으며 여러 방향의 에지 성분을 고려하기 위해서 새로운 색상 변환 행렬이 제시되었다. 또한 색상 정보의 부족으로 인하여 야기되는 색상 잡음을 효과적으로 제거하기 위해서 컬러 차 도메인에서 중간 값 필터가 후처리 과정으로 수행되었다^[9].

II. 기존의 방식

원색 필터의 경우, 에지 방향성을 이용한 색상 보간 방식이 많이 연구된 반면에 보색 필터의 경우에는 필터 배열의

특성상 에지 방향성을 고려하기가 쉽지 않다. 따라서 보색 필터의 결과 영상에는 색상 보간 시에 많은 열화가 발생한다. 여기서는 보색 필터의 센서에서 일반적으로 사용되는 색상 보간 방법을 소개 하겠다.

기존의 방식^[3]은 센서에서 획득된 정보로부터 밝기 정보와 색상 정보를 획득하는 부분, 획득된 색상 정보를 업샘플링(up-sampling)하는 부분, 밝기 정보와 색상 정보를 원색의 컬러 신호로 변환하는 색상 변환의 세 가지 구성으로 이루어진다.

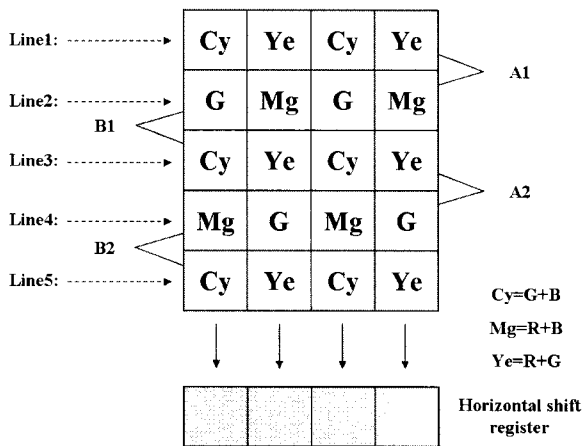


그림 3. 센서에서 보색의 색상 정보를 획득하는 과정.
Fig 3. The acquisition process of complementary color components.

그림 3은 보색의 색상 정보를 획득하는 과정을 나타낸 것이다. A필드와 B필드는 각각 이븐 필드(even field)와 오드 필드(odd field)를 나타낸다. A필드에서 A1(혹은 A2)은 line1과 line2(혹은 line3과 line4)의 합으로 이루어진다. 이와 비슷하게 B필드에서 B1(혹은 B2)은 line2과 line3(혹은 line4과 line5)의 합으로 이루어진다. 결과적으로 A1에는 (Cy+G), (Ye+Mg), (Cy+G)와 (Ye+Mg) 신호가 Horizontal shift register(HSR)에 저장된다. 이 신호들로부터 밝기 신호인 Y 신호와 색상 신호인 (R-Y) 신호가 주변 신호들과의 합과 차로 인하여 획득된다. 밝기 신호인 Y는 다음과 같이 정의된다.

$$Y = ((Cy+G) + (Ye+Mg)) \times 1/2 = (2R+3G+2B) \times 1/2 \quad (1)$$

색상 신호인 (R-Y)는 다음과 같이 정의된다.

$$(R-Y) = ((Ye+Mg) - (Cy+G)) = (2R-G) \quad (2)$$

B1에서는 A1에 적용되었던 과정이 그대로 수행된다. A2에는 (Cy+Mg), (Ye+G), (Cy+Mg)와 (Ye+G) 신호가 HSR에 저장된다. 신호들로부터 밝기 신호인 Y 신호와 색상 신호인 -(B-Y) 신호가 주변 신호들과의 합과 차로 인하여 획득된다. 밝기 신호인 Y는 다음과 같이 정의된다.

$$Y = ((Cy+Mg) + (Ye+G)) \times 1/2 = (2R+3G+2B) \times 1/2 \quad (3)$$

색상 신호인 -(B-Y)는 다음과 같이 정의된다.

$$-(B-Y) = ((Ye+G) - (Cy+Mg)) = -(2B-G) \quad (4)$$

B2에서는 A2에 적용되었던 과정이 그대로 수행된다. 위의 과정에서 알 수 있듯이 A1에서는 (R-Y) 신호가 획득되었고 A2에서는 -(B-Y) 신호가 획득되었다. 따라서 색상 신호((R-Y), -(B-Y))는 밝기 신호(Y)에 비해 두 배만큼 다운샘플링(down-sampling) 되었다는 것을 알 수 있다. 그러므로 색상 신호는 수직 방향으로 두 배만큼의 업샘플링(up-sampling)이 필요하며, 색상 정보는 결과에 크게 영향을 미치지 않기 때문에 양선형 보간(bilinear interpolation)과 같은 간단한 방식이 사용된다.

일반적으로 영상 신호의 최종 출력은 RGB신호 혹은 YCbCr신호이다. RGB신호와 YCbCr신호의 간의 상호 변환은 비교적 간단한 과정이기 때문에 RGB신호를 최종 출력설정하였다. 원색 신호 성분인 RGB신호는 다음 연산의 역 과정으로 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ (R-Y) \\ -(B-Y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1.5 & 1 \\ 2 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

그러나 기존의 방식은 에지 방향성의 고려 없이 이웃한

두 개의 신호를 사용하기 때문에 크게 다음 두 가지의 문제가 발생한다. 만약 두 신호 사이에 에지가 존재한다면 에지를 가로질러 색상 보간이 이루어지고 그림 4와 같은 색상 잡음과 그림 5와 같은 지퍼 효과가 발생한다. 또한, 기존의 방식은 수직 방향의 성분을 사용하지 않기 때문에 수직 방향 에지 성분의 열화를 야기한다.

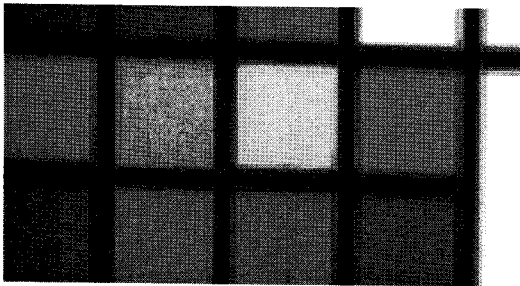


그림 4. 기존의 방식으로 보간 하였을때 생기는 색상 잡음.
Fig 4. The color artifacts in the result of the conventional method.

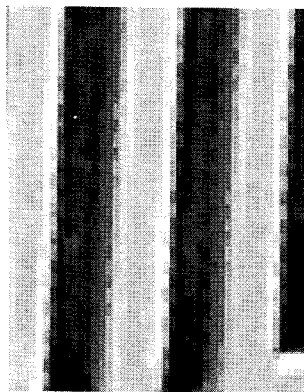


그림 5. 기존의 방식으로 보간 하였을때 생기는 지퍼 효과 (밝기 신호).
Fig 5. The zipper effects around the vertical edge (the luminance signal demosaicked with the conventional method).

III. 제안된 방식

기존의 방식은 에지 방향성의 고려 없이 수평 방향으로 화소를 보간한다. 이는 거짓 색상과 지퍼 효과 같은 화질 열화를 발생하며, 특히 수직 방향의 에지 성분에서 두드러지게 나타난다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 에지 방향성을 고려한 새로운 색상 보간 방식이 제안되었다.

1. 공간 적응적 영역 결정

HSR에 저장된 신호들은 우선 평탄 영역에 포함되어있는지 에지 영역에 포함되어 있는지 구분된 후, 각각 서로 다른 보간 방식이 적용된다. 이러한 분류 과정에는 그림 6과 같이 현재 보간 되려는 화소를 기준으로 좌우에 위치한 두 개의 블록이 이용된다.

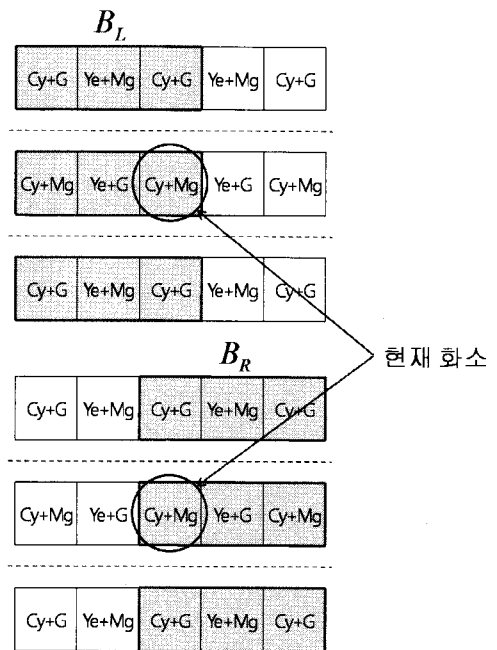


그림 6. 공간 적응적 영역 결정에 사용되는 두 개의 블록.
Fig 6. The two blocks employed for the spatially-adaptive region decision.

평탄 영역에 포함 된 화소는 두 블록의 절대 차이의 합 (summation of absolute difference : SOAD)이 에지 영역에 포함된 화소의 값보다 상대적으로 작다. SOAD는 다음과 같이 계산 된다.

$$SOAD = \sum |B_L(h, v) - B_R(h, v)| \quad (6)$$

여기에서 B_L 과 B_R 은 각각 그림 6에서처럼 현재 화소의 좌우에 위치한 블록이며, (h, v) 는 블록 내부의 화소의 위치

를 의미한다. 이를 이용하여 현재 화소가 포함된 영역은 다음과 같이 구분된다.

$$\begin{cases} \text{평탄영역,} & \text{if } SOAD < Th \\ \text{에지영역,} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

여기서 Th 는 미리 정한 문턱 값이다.

2. 평탄 영역에서의 색상 보간

평탄 영역에서는 에지 방향성을 고려하지 않는 간단한 방식이 수행된다. 그림 7은 평탄 영역의 보간에서 사용되는 화소를 나타낸 것이다.

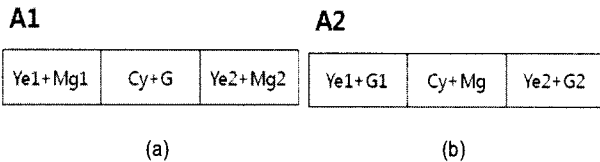


그림 7. 평탄 영역의 보간에 사용되어지는 화소
Fig 7. The pixels employed for the demosaicking in stationary region.

그림 7의 (a)의 $(Cy+G)$ 위치에서는 밝기 신호인 Y 신호와 색상 신호인 $(R-Y)$ 신호가 획득된다. Y 신호는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{2} \left(\frac{(Ye1+Mg1) + (Ye2+Mg2)}{2} + (Cy+G) \right) \\ &= \frac{1}{2} \times (2R+3G+2B) \end{aligned} \quad (8)$$

$(R-Y)$ 신호는 다음과 같이 정의된다.

$$(R-Y) = \left(\frac{(Ye1+Mg1) + (Ye2+Mg2)}{2} - (Cy+G) \right) = (2R-G). \quad (9)$$

그림 7의 (b)의 $(Cy+Mg)$ 위치에서는 밝기 신호인 Y 신호와 색상 신호인 $-(B-Y)$ 신호가 획득된다. Y 신호는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{2} \left(\frac{(Ye1+G1) + (Ye2+G2)}{2} + (Cy+Mg) \right) \\ &= \frac{1}{2} \times (2R+3G+2B) \end{aligned} \quad (10)$$

$-(B-Y)$ 신호는 다음과 같이 정의된다.

$$-(B-Y) = \left(\frac{(Ye1+G1) + (Ye2+G2)}{2} - (Cy+Mg) \right) = -(2B-G). \quad (11)$$

기존의 방식과 달리 제안된 방식은 평탄 영역에서 세 개의 화소를 이용한다. 따라서 제안된 방식의 결과는 기존의 방식의 결과보다 평탄 영역에서 잡음에 대한 영향이 상대적으로 적다. 하지만 밝기 신호와 색상 신호의 성분은 기존의 방식과 같기 때문에 색상 변화 행렬은 기존의 것이 그대로 이용된다.

3. 에지 방향 추정

제안된 방식의 성능은 에지 방향 추정의 정확성에 크게 영향을 받는다. 그러나 보색 필터는 특이한 배열 구조를 가지고 있고, 비월주사 방식을 채택하고 있기 때문에 HSR의 정보로부터 에지 방향성을 추정하는 것은 쉽지 않다. 따라서 에지 방향을 보다 정확하게 추정하기 위해 평탄 영역에서 밝기 정보를 얻기 위한 방식(수식(8)과 수식(10))이 우선 수행된다. 그림 8은 에지 방향 추정에 사용되는 값들을 나타낸 것이다. 에지 방향 추정이 화소 단위로 이루어질 경우 잡음의 영향을 받기 때문에 블록 단위로 수행된다. 이 과정에서 수평방향의 변화량의 계산은 좌우의 화소로 구성된 블록을 사용한다. 하지만 수직방향의 경우, 보색 필터가 비월주사 방식을 채택하고 있기 때문에 상하의 화소로 구성된 블록을 이용하면 너무 먼 거리에 있는 값이 계산에 사용된다. 따라서 수평방향과 같이 좌우의 화소로 구성된 블록을 이용하여 수직방향으로 변화량을 계산한다.

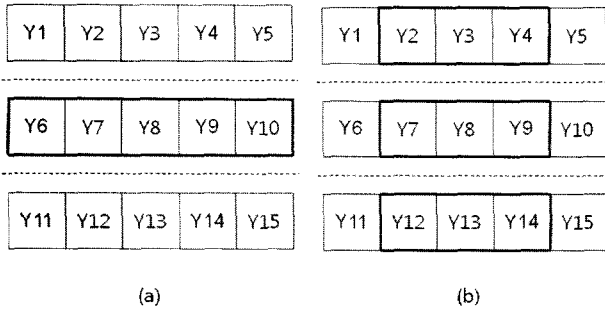


그림 8. 에지 방향 추정에 사용되는 값들.
Fig 8. The blocks employed for the estimation of edge direction.

그림 8의 (a)의 Y(8) 위치에서 수평방향의 변화량은 다음과 같이 정의된다.

$$V_h = \sum_{k=-1}^1 \left| Y(k+8) - \frac{Y(k+7)+Y(k+9)}{2} \right| \quad (12)$$

수식(12)와 비슷하게 그림 8의 (b)의 Y(8) 위치에서 수직방향의 변화량은 다음과 같이 정의된다.

$$V_v = \sum_{k=-1}^1 \left| Y(k+8) - \frac{Y(k+3)+Y(k+13)}{2} \right| \times \frac{1}{2} \quad (13)$$

보색 필터가 비월주사 방식을 채택하기 때문에 수직 방향의 거리가 수평 방향의 거리보다 2배가 멀다. 따라서 V_v 를 2로 나눈다. 에지 방향은 V_h 와 V_v 를 비교하여 추정된다.

$$\begin{cases} \text{수평에지,} & \text{if } V_h < V_v \\ \text{수직에지,} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

4. 에지 영역에서의 색상 보간

에지 영역에서는 보간된 영상의 품질 향상을 위하여 에지 방향성이 고려된다. 또한 에지 방향을 정확하게 추정하고 이를 결과에 반영하기 위하여 분산의 함수가 가중치로 사용되었다.

4.1. 가중치의 계산

효과적인 보간을 목적으로 분산의 함수가 가중치로 설정되었다. 에지 영역의 분산은 상대적으로 큰 값을 나타내기 때문에 가중치는 분산에 반비례한 값을 갖는다. 에지 방향성을 추정할 때와 같은 이유로 평탄 영역에서 밝기 정보를 얻기 위한 방식(수식(8)과 수식(10))이 우선 수행된다.

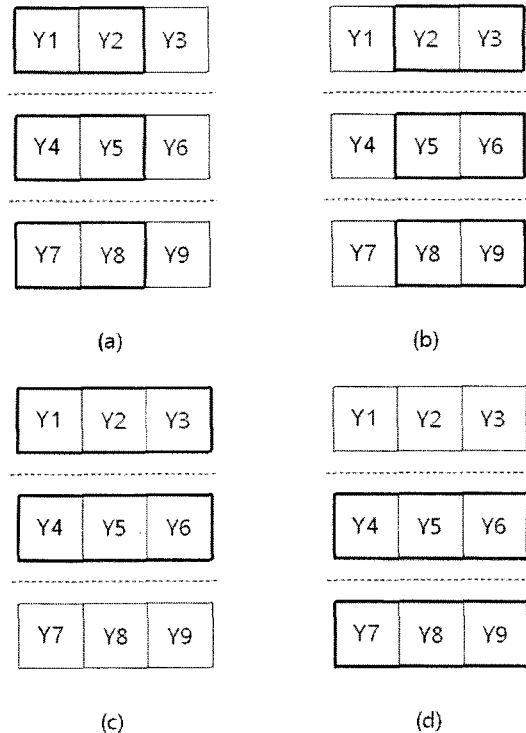


그림 9. 가중치를 위한 분산이 계산되는 영역 : ((a) 왼쪽방향, (b) 오른쪽방향, (c) 위방향, (d) 아래방향).

Fig 9. The masks where variances are calculated toward each direction.

그림 9의 (a)의 Y(5) 위치에서 왼쪽 방향으로 분산 v_{LT} 의 계산은 다음과 같이 정의된다.

$$v_{LT} = \sum_{k=\{1,2,4,5,7,8\}} \frac{(Y(k) - m_{LT})^2}{6} \quad (15)$$

여기에서 m_{LT} 는 Y(5) 위치에서 왼쪽 방향으로 평균이

며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v_{LT} = \sum_{k=\{1,2,4,5,7,8\}} \frac{Y(k)}{6}. \quad (16)$$

v_{RT} , v_{UP} 와 v_{LO} 는 각각 오른쪽, 위, 아래 방향으로의 분산이다. 이 값들은 수식 (15)와(16)과 비슷한 과정을 통하여 얻을 수 있다.

w_{LT} , w_{RT} , w_{UP} 와 w_{LO} 는 각각 왼쪽, 오른쪽, 위, 아래 방향의 가중치이며 이는 분산에 반비례한 함수를 통하여 얻을 수 있다.

4.2. 수평 방향의 에지 영역에서의 보간

수평 방향의 에지 영역에서는 가중치를 사용한 보간이 이루어진다. 그림 10은 수평 방향의 에지 영역에서의 보간에 사용되는 화소를 나타낸 것이다.

그림 10의 (a)의 (Cy+G) 위치에서는 밝기 신호인 Y 신호와 색상 신호인 (R-Y)신호가 획득된다. Y 신호는 다음과 같이 정의된다.

$$Y = \frac{1}{2} \left(\frac{w_{LT} \times (Ye1 + Mg1) + w_{RT} \times (Ye2 + Mg2)}{w_{LT} + w_{RT}} + (Cy + G) \right) = \frac{1}{2} \times (2R + 3G + 2B). \quad (17)$$

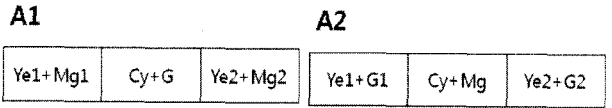


그림 10. 수평 방향의 에지 영역의 보간에 사용되는 화소
Fig 10. The pixels employed for the demosaicking in the horizontal edge region.

(R-Y)신호는 다음과 같이 정의된다.

$$(R - Y) = \left(\frac{w_{LT} \times (Ye1 + Mg1) + w_{RT} \times (Ye2 + Mg2)}{w_{LT} + w_{RT}} - (Cy + G) \right) = (2R - G). \quad (18)$$

그림 10의 (b)의(Cy+Mg) 위치에서는 밝기 신호인 Y 신호와 색상 신호인 -(B-Y)신호가 획득된다. Y 신호는 다음과 같이 정의된다.

$$Y = \frac{1}{2} \left(\frac{w_{LT} \times (Ye1 + G1) + w_{RT} \times (Ye2 + G2)}{w_{LT} + w_{RT}} + (Cy + Mg) \right) = \frac{1}{2} \times (2R + 3G + 2B). \quad (19)$$

-(B-Y)신호는 다음과 같이 정의된다.

$$-(B - Y) = \left(\frac{w_{LT} \times (Ye1 + G1) + w_{RT} \times (Ye2 + G2)}{w_{LT} + w_{RT}} - (Cy + Mg) \right) = -(2B - G). \quad (20)$$

수평 방향의 에지 영역에서도 밝기 신호와 색상 신호의 성분은 기존의 방식과 같기 때문에 색상 변화 행렬은 기존의 것이 그대로 이용된다.

4.3. 수직 방향의 에지 영역에서의 보간

보색 필터는 비월주사 방식을 채택하기 때문에 수직 방향의 보간을 적용하기 어렵고, 에지 방향이 잘못 추정 되는 경우가 발생하기도 한다. 따라서 그림 11과 같이 수직 방향의 에지 영역에서의 보간에서는 수직 성분뿐 아니라 수평 방향의 성분도 같이 사용된다.

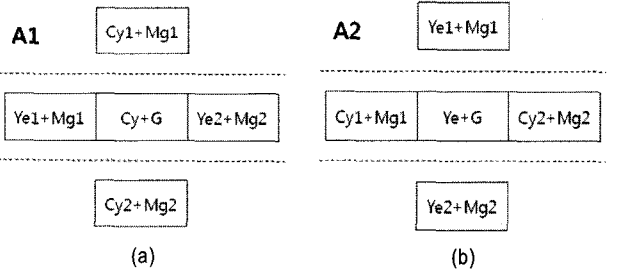


그림 11. 수평 방향의 에지 영역의 보간에 사용되는 화소
Fig 11. The pixels employed for the demosaicking in the vertical edge region.

그림 11의 (a)의 (Cy+G) 위치에서는 새롭게 정의된 밝기 신호인 Y1 신호와 색상 신호인 (R-Y)신호가 획득된다.

$$Y1 = \eta \times \left(\frac{w_{LT} \times (Ye1 + Mg1) + w_{RT} \times (Ye2 + Mg2)}{w_{LT} + w_{RT}} + (Cy + G) \right) + (1 - \eta) \times \left(\frac{w_{UP} \times (Cy1 + Mg1) + w_{LO} \times (Cy2 + Mg2)}{w_{UP} + w_{LO}} + (Cy + G) \right) \quad (21)$$

$$= R(1 + \eta) + 3G + B(3 - \eta), \quad 0 \leq \eta \leq 1.$$

$$Y2 = \eta \times \left(\frac{w_{LT} \times (Cy1 + Mg1) + w_{RT} \times (Cy2 + Mg2)}{w_{LT} + w_{RT}} + (Ye + G) \right) + (1 - \eta) \times \left(\frac{w_{UP} \times (Ye1 + Mg1) + w_{LO} \times (Ye2 + Mg2)}{w_{UP} + w_{LO}} + (Ye + G) \right) \quad (22)$$

$$= R(3 - \eta) + 3G + B(1 + \eta), \quad 0 \leq \eta \leq 1.$$

Y1 신호는 수식 (21)과 같이 정의된다.

여기서 η 는 수평 방향과 수직 방향의 성분을 조절하는 변수이다.

색상 신호인 $(R - Y)$ 는 밝기 신호보다 결과에 비교적 적은 영향을 미치기 때문에 수식(18)의 과정이 그대로 사용된다. 그림 11의 (b)의 $(Ye+G)$ 위치에서는 밝기 신호인 Y2 신호와 색상 신호인 $-(B - Y)$ 신호가 획득된다. Y2 신호는 수식 (22)와 같이 정의된다.

마찬가지로 색상 신호인 $-(B - Y)$ 는 밝기 신호보다 결과에 비교적 적은 영향을 미치기 때문에 수식(20)의 과정이 그대로 사용된다.

수직 방향의 에지 영역에서는 밝기 신호의 성분이 변화했기 때문에 색상 변화 행렬이 새롭게 정의 된다. $(Cy+G)$ 나 $(Cy+Mg)$ 가 보간되는 중심 화소일 경우 색상 변화 행렬은 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{bmatrix} Y1 \\ (R - Y) \\ -(B - Y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 + \eta) & 3 & (3 - \eta) \\ 2 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (23)$$

$(Ye+G)$ 나 $(Ye+Mg)$ 가 보간되는 중심 화소일 경우 색상 변화 행렬은 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{bmatrix} Y1 \\ (R - Y) \\ -(B - Y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (3 - \eta) & 3 & (1 + \eta) \\ 2 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (24)$$

5. 색상 잡음 제거 방식

정보의 부족으로 인하여 발생하는 색상 잡음을 제거하기 위해 중간 값 필터가 컬러 차 도메인에 적용되었다. 컬러 차 도메인은 다음과 같이 정의된다.

$$K_{i,j}^R = G_{i,j} - R_{i,j}, \quad (25)$$

$$K_{i,j}^B = G_{i,j} - B_{i,j}. \quad (26)$$

국소 영역에서 중심 화소에서의 색상 값은 다음과 같이 업데이트 된다.

$$\hat{R}_{i,j} = G_{i,j} - \hat{K}_{i,j}^R, \quad (27)$$

$$\hat{B}_{i,j} = G_{i,j} - \hat{K}_{i,j}^B. \quad (28)$$

$\hat{K}_{i,j}^R$ 과 $\hat{K}_{i,j}^B$ 는 컬러 차 도메인에 중간 값 필터를 적용한 결과로 다음과 같이 정의 된다.

$$\hat{K}_{i,j}^R = \text{median}_{(i,j) \in h} \{K_{i,j}^R\}, \quad (29)$$

$$\hat{K}_{i,j}^B = \text{median}_{(i,j) \in h} \{K_{i,j}^B\}. \quad (30)$$

여기에서 (i,j) 는 화소의 위치이며 h 는 국소 영역을 의미한다. 결과적으로 $R_{i,j}$ 과 $B_{i,j}$ 신호는 $\hat{R}_{i,j}$ 과 $\hat{B}_{i,j}$ 신호로 대체된다. 하지만 보색필터는 다른 색 정보보다 상대적으로 G 신호를 많이 가지고 있기 때문에 G 신호는 정확하다고 가정하고 업데이트 하지 않는다.

IV. 실험 결과

제안된 방식의 성능을 평가하기 위해서 몇 장의 시물레이션 결과가 제시되었다 ("house", "window" 768×512 사이즈, "lighthouse" 512×768 사이즈). 또한 PSNR(Peak Signal To Noise Rate)과 NCD(Normalized Color Difference)가 제안된 방식의 수치적 평가를 위해 사용되었다. 시물레이션 과정에서 일반적으로 눈에 띄는 열화는 영역의 차이가 7 정도일 때부터 발생하였고, 따라서 영역을 결정 짓는 문턱 값 Th 를 7로 설정하였다. 또한 가중치 η 는 0.5로 설정하였으며 이는 수직 방향의 보간에서 수직 방향의 성분과 수평 방향의 성분이 같은 비율로 반영되는 것을 의미한다. 컬러 차 도메인에서 중간 값 필터의 국부 영역은 3×5로 설정되었다.

표 1. PSNR 비교.
Table 1. The PSNR comparison.

PSNR(dB)	Channel	Conventional	Proposed
Lighthouse	R	24.33	26.94
	G	25.31	27.81
	B	24.89	26.38
House	R	20.30	23.06
	G	21.16	24.14
	B	20.15	22.84
Window	R	28.84	30.93
	G	28.81	30.38
	B	26.22	29.61

표 1과 표 2는 수치적 비교이다. 표 1은 PSNR을 비교한 것이며 제안된 방식이 기존의 방식보다 약 2dB 정도의 성능 향상을 보이는 것을 확인할 수 있다. 표 2는 NCD의 비교를 나타낸 것이며 제안된 방식의 결과가 기

존의 방식의 결과보다 색상 잡음이 적게 발생하는 것을 알 수 있다.

표 2. NCD 비교.
Table 2. The NCD comparison.

$NCD \times 10^{-2}$	Conventional	Proposed
Lighthouse	6.97	4.89
House	11.38	7.43
Window	6.47	4.09

그림 12는 "lighthouse" 영상의 실험 결과이다. 이 결과는 수직 방향의 에지 영역에서 색상 보간의 성능을 보여준다. 그림 12의 (b)에서 볼 수 있듯이 기존의 방식^[3]은 에지를 넘어서 보간이 수행되기 때문에 지퍼 효과와 색상 잡음 같은 화질 열화가 두드러지게 발생한다.

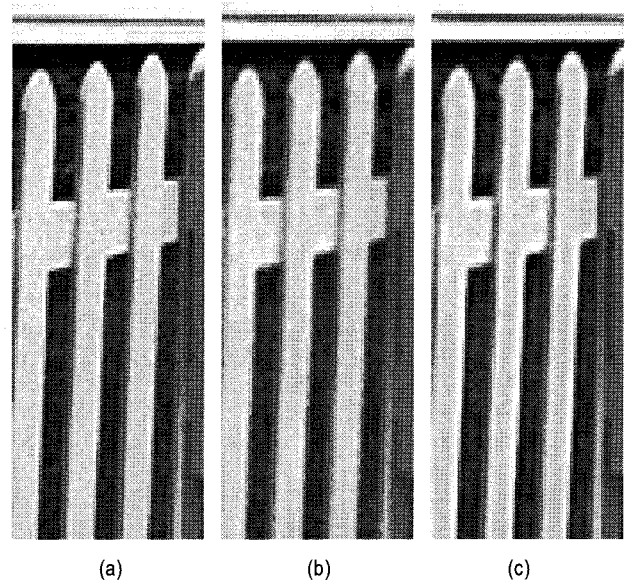


그림 12. "lighthouse" 영상의 실험 결과 부분 확대 : ((a) 원본영상, (b) 기존의 방식, (c) 제안된 방식).
Fig 12. Partially-magnified results of (a) original image, (b) the conventional method, and (c) the proposed method on a lighthouse image.

반면에 그림 12의 (c)에서 볼 수 있듯이 제안된 방식이 기존의 방식에 비해 화질 열화가 개선 되었음을 확인할 수 있다. 그림 13은 "window" 영상의 실험 결과로 그림 12와 비슷한 성능을 나타낸다.

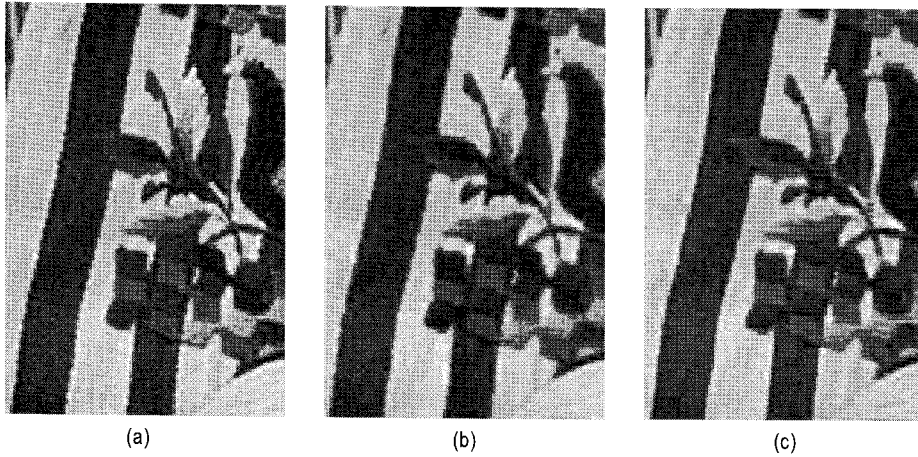


그림 13. "window" 영상의 실험 결과 부분 확대 : ((a) 원본영상, (b) 기존의 방식, (c) 제안된 방식).

Fig 13. Partially-magnified results of (a) original image, (b) the conventional method, and (c) the proposed method on a window image.

그림 14는 실제 보색 필터 모듈을 사용하여 색상표를 촬영한 후 실험한 결과이다. 그림 14의 (a)에서 볼 수 있듯이 실제 촬영한 영상에서도 기존의 방식의 결과에는 에지를 따라서 많은 화질 열화들이 발생하는 것을 살펴볼 수 있다. 반면에 그림 14의 (b)에서는 두꺼운 에지 성분들이 제안된 색상 보간 방법으로 색상 잡음을 제거 할 수 있음을 확인 할 수 있다.

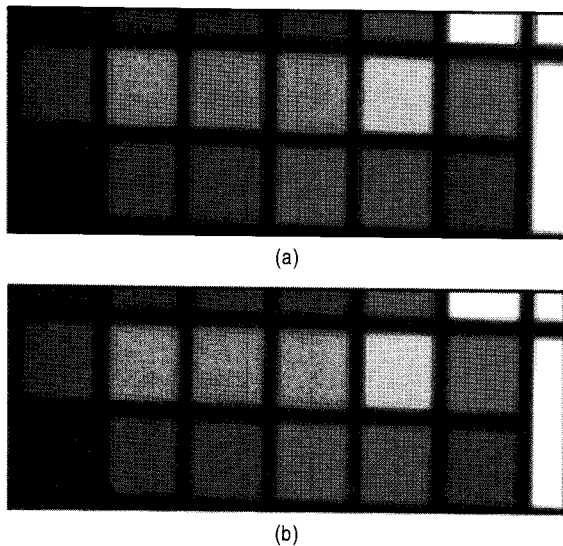


그림 14. 실제 보색 필터 모듈을 사용하여 색상표를 촬영한 후 실험한 결과 : ((a) 기존의 방식, (b) 제안된 방식-색상 잡음 제거 후처리 과정 수행하지 않은 결과).

Fig 14. Partially-magnified results of (a) the conventional method and (b) the proposed method without color correction on a color checker DC image.

V. 결론

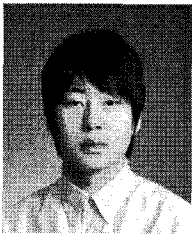
본 논문에서는 보색 필터를 위한 새로운 에지 적응적 색상 보간 방식이 제시되었다. 에지 방향성을 고려하지 않는 기존의 방식과 달리, 제안된 방식은 에지 방향성을 추정하고 추정된 에지 방향을 따라서 색상 보간을 수행한다. 특히 수직 방향의 에지를 포함한 영역에서는 수직 방향의 성분을 사용하여 영상의 품질을 향상시킨다. 이는 기존의 방식과 가장 큰 차이이다. 또한 제안된 방식은 에지 방향을 따라서 효과적으로 색상 보간을 수행하기 위해서 가중치를 사용하였다. 결과적으로 제안된 방법은 에지 주변에서 발생하던 지퍼 효과나 색상 잡음 등을 제거 함으로써 영상의 품질 향상에 기여하는 것을 확인하였다. 실험 결과는 제안된 방법이 기존의 방법보다 시각적인 면에서나 수치적인 면에서나 향상된 결과를 나타내는 것을 보여준다.

참고 문헌

- [1] S.C. Park, M.K. Park, and M.G. Kang, Superresolution image reconstruction - A technical overview, IEEE Signal Process, 20, 21 - 36, May, 2003.
- [2] B.E. Bayer, Color imaging array, U.S. Patent 3,971,065, July 1976.
- [3] SONY, Diagonal 4.5 mm (Type1/4) CCD image sensor for NTSC color video cameras, Available at http://www.sony.co.jp/*semi-

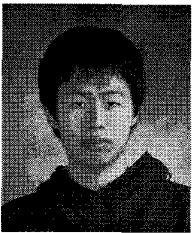
- con/english/img/sony01/a6805261.pdf
- [4] R.L. Baer, W.D. Holland, J. Holm, and P. Vora, A comparison of primary and complementary color filters for CCD-based digital photography, Proc SPIE 3650, 16 - 25, 1999.
- [5] J.E. Adams Jr., Interactions between color plane interpolation and other image processing functions in electronic photography, Proc SPIE 2416, 144 - 151, 1995.
- [6] S.C. Pei and I.K. Tam, Effective color interpolation in CCD color filter arrays using signal correlation, IEEE Trans Circ Syst Video Technol, 13, 503 - 513, 2003.
- [7] R. Kimmel, Demosaicing: Image reconstruction from color CCD samples, IEEE Trans Image Process, 8, 1221 - 1228, 1999.
- [8] B.S. Hur and M.G. Kang, Edge-adaptive color interpolation algorithm for progressive scan charge-coupled device image sensors, SPIE Opt Eng, 40, 2698 - 2708, 2001.
- [9] W. Lu and Y. Tan, Color filter array demosaicking: New method and performance measures, IEEE Trans Image Process, 12, 1194 - 1210, 2003.
- [10] S.W. Park and M.G. Kang, Color interpolation with variable color ratio considering cross-channel correlation, SPIE Opt Eng, 43, 34 - 43, 2004.
- [11] J. Kim, J. Ha, S. Jeong, H. Yang, and B. Kang, Security camera based on a single chip solution using a sharply outlined display algorithm and variableclock video encoder, IEEE Trans Consum Electron, 52, 2006.
- [12] L. Khrijji, F.A. Cheikh, and M. Gabbouj, High-resolution digital resampling using vector rational filters, SPIE Opt Eng, 38, 893 - 901, 1999.

저 자 소 개



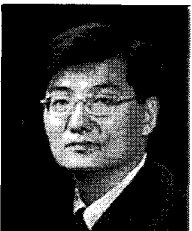
한 영 석

- 2004년 2월 : 연세대학교 전자공학과 공학사.
- 2006년 2월 : 연세대학교 전자공학과 공학석사.
- 2006년 ~ 현재 : 연세대학교 전자공학과 박사과정.
- 주관심분야 : 색보간, 순차주사화, 잡음제거, 다이내믹 영역 확장



강 희

- 2007년 2월 : 연세대학교 전자공학과 공학사.
- 2007년 ~ 현재 : 연세대학교 전자공학과 석박통합과정.
- 주관심분야 : 색보간, 영상복원



강 문 기

- 1986년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사.
- 1988년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학석사.
- 1994년 2월 : Northwestern University 공학박사.
- 1994년 3월 ~ 10월 : Research Fellow(Northwestern University).
- 1994년 11월 ~ 1997년 2월 : Assistant Professor (University of Minnesota, Duluth).
- 1997년 3월 ~ 1999년 2월 : 연세대학교 전자공학과 조교수.
- 1999년 3월 ~ 2004년 2월 : 연세대학교 전자공학과 부교수.
- 2004년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전자공학과 정교수.
- IEEE와 SPIE의 멤버.
- IEEE signal processing magazine의 editorial board member.
- SPIE Milestone Series Volume(CCD and CMOS imagers)의 Editor.
- IEEE ISPCS Steering Committee.
- EURASIP Journal of ASP(Applied Signal Processing), Editor.
- EURASIP Journal of ASP, Special issue on Superresolution, Guest Editor.
- Journal of Advances in Multimedia, Editor.
- 주관심분야 : 영상복원, 초해상도 영상복원, 비선형 필터링, 비디오 분석 및 처리 부화소단위의 움직임 추정