

채널간 상관관계 및 에지 방향을 고려한 컬러 보간

유두식, 강문기
연세대학교 전기전자 공학부 TMS 사업단

Edge-directed demosaicing considering cross channel correlation

Du-sic Yoo, Moon Gi Kang
Yonsei University Institute of TMS Information Technology

Abstract - 본 논문은 칼라 필터 배열(color filter array : CFA) 영상에서 채널 간 상관관계를 이용한 새로운 에지 방향 컬러 보간 방법을 제시하였다. 고정 채널 간 컬러 차 가정에 따라 휘도와 색차간의 차가 큰 경우 에지영역이라 판단한다. 에지 방향 판별을 정확히 하기 위해 수평, 수직 방향으로 컬러 차 영상을 구하고, 구한 영상에서 변화량을 계산하여 에지 방향 판별 기준으로 사용한다. 에지 판별 기준을 사용하여, 에지 방향에 따라 컬러 보간을 수행한다. 평탄 영역은 이웃 화소와의 유사성에 따라 가중치를 다르게 줘서, 이웃 화소의 가중치 합으로 구한다. 실험 결과는 제안하는 알고리즘이 기존 알고리즘 보다 우수함을 보여준다.

R	G	R	G	R
G	B	G	B	G
R	G	R	G	R
G	B	G	B	G
R	G	R	G	R

<그림 1> 베이어 패턴

1. 서 론

완전한 컬러 영상을 얻기 위해서는 각 화소 위치에서 적어도 세 개의 컬러 샘플이 필요하다. 하지만 많은 비용이 요구되며, 영상장치도 커지는 단점이 발생한다. 그래서 적은 비용과, 작은 크기의 영상장치로 디지털 컬러 영상을 획득하기 위해, 세 개의 완전한 컬러 센서 대신에 CFA를 가지는 단일 영상 센서를 사용한다. 각 센서 화소는 오직 광원의 밝기만 획득하기 때문에, 컬러 정보를 얻기 위해 센서 앞에 CFA를 사용해서 각 센서 화소는 R, G, B 중 하나의 성분을 얻는다. 가장 널리 사용되는 CFA 패턴은 베이어 패턴(Bayer pattern)이다. CFA 표본으로부터 완전한 해상도의 컬러 영상을 얻기 위해서 각 화소의 잃어버린 두 컬러 성분은 이웃 화소를 이용하여 추정한다. 이러한 과정을 컬러 보간(demosaicing 또는 color interpolation) [1]이라 한다.

고정 채널 간 컬러 차(constant cross channel color difference) 가정은 작은 영역에서 밝기와 색차 사이의 차는 고정적 이라는 것을 의미한다. 이 가정을 이용한 초기 컬러 보간 방법[2][3]에서 영상의 평탄 영역에서 만족할 만한 성능을 가지지만 에지 또는 패턴 영역에서 지퍼(zipper), 무아레(Moire), 블러(blur)와 같은 열화가 발생한다. 이런 열화는 물체 경계를 가로지르며 컬러 값을 보간해서 발생한다. 이런 열화를 줄이기 위해 에지 방향을 고려한 방법[4][5][6]들이 제안 되었고, 각 방법들은 각각 에지 특성을 정의하고, 그 특성에 따라 에지 방향을 결정하는 판별기준을 제안하여 에지 특성을 컬러 보간에 반영한다. 에지 방향 결정 기준으로 베이어 패턴에서 각 방향의 기술 기[4], Fisher 판별식[5], 동질성[6] 이 사용되었다.

본 논문은 새로운 에지 방향 결정 기준은 제안하였다. 수평, 수직 에지를 판별할 때, 수평, 수직 방향으로 컬러 차를 구하여, 컬러 차 도메인에서 변화량을 구한다. 작은 변화량을 가지는 방향으로 에지 방향을 판별 한다.

2. 본 론

2.1 에지방향 결정 기준 및 가중치 합수

고정 채널 간 컬러 차 가정은 작은 영역에서 휘도와 색차 간의 차는 고정적이라는 것을 말한다. 이런 가정에 따라 컬러 차 도메인의 한 영역에서 갑작스런 변화가 발생 했을 때, 이 영역을 에지 영역이라 판단할 수 있다. 따라서 컬러 차 도메인에서 변화량은 에지 판별 기준으로 사용 할 수 있다. 에지 특성에 따라 에지영역에서 에지 방향에 대한 변화량은 작은 값을 가지고, 에지를 가로지르는 방향에 대한 변화량은 큰 값을 가진다. 이 사실을 이용하여 정확한 에지 방향 판별을 위해, 수평, 수직 방향으로 컬러 차 영상을 구하고, 구한 각 방향 컬러 차 영상에서 변화량을 구한다. 작은 변화량 값을 가지는 컬러 차 영상이 에지 방향이다. 식(1)은 R 위치에서 변화량을 구하는 식이다.

$$V_{hor}(i, j) = \sum_{(k,l) \in N} |Kr_{hor}(i+k, j+l) - Kr_{hor}(i, j)| \quad (식 1)$$

$$V_{ver}(i, j) = \sum_{(k,l) \in N} |Kv_{ver}(i+k, j+l) - Kv_{ver}(i, j)|$$

$Kr_{hor}(i, j)$ 과 $Kv_{ver}(i, j)$ 는 수평, 수직 방향으로 G 와 R 채널 간의 차 영상의 (i, j) 위치에서 값을 나타내고, N 은 (i, j) 가 중심인 3x3 윈도우를 나타낸다. 컬러 차 영상의 변화량으로 각 화소에서 에지, 평탄 영역으로 분류한다.

에지 영역의 경우 에지 방향에 따라 컬러 값을 보간하고, 평탄 영역은 채널 내 상관관계, 채널 간 상관관계를 고려한 가중치 합수를 사용하여 가중치 합으로 컬러 값을 보간한다. 가중치 합수는 이웃 화소와 유사성을 측정하여, 유사성

이 작을수록 큰 가중치를 둔다. 유사성은 같은 채널 내 이웃 화소 간 차이값으로 계산하고, 채널 간 상관관계에 따라 다른 채널도 비슷한 유사성을 가지므로 다른 채널에서도 이웃 화소 간 차이값을 유사성 값에 반영한다.

2.2 G 채널 보간

본 논문은 잃어버린 화소를 복원하기 위해 두 가지 상관관계를 사용한다. 하나는 이웃 화소가 떨어져 있는 화소보다 더 상관관계가 높다는 가정인 채널 내 상관관계이고, 다른 하나는 같은 위치에서 다른 채널의 화소와 상관관계가 높다는 채널 간 상관관계이다. 2.1장에서 구한 에지 결정 기준을 이용하여 각 화소에서 세부 영역을 평탄영역, 에지 영역으로 구분한다. 에지 영역은 수평 또는 수직 방향 영역으로 다시 분류되고, 각 에지 방향에 따라 컬러채널 값을 보간한다.

컬러 보간 과정에서 G채널의 정보가 R, B 채널의 정보보다 2배 많고, 영상의 밝기 정보와 유사하기 때문에 G채널 보간을 먼저 수행한다. 그림 1의 베이어 패턴의 경우 중심 R위치에서 G채널 값을 보간하는 경우를 고려하자. 중심 R위치를 (i, j) 위치라 하고, 동, 서, 남, 북 방향의 컬러 차 값을 구하여, 에지 방향에 따라 컬러 차 값을 적절히 사용하여 G값을 보간한다.

$$Kr^w = G(i, j-1) - (R(i, j-2) + R(i, j))/2 \quad (식 2)$$

$$Kr^e = G(i, j+1) - (R(i, j+2) + R(i, j))/2$$

$$Kv^w = G(i-1, j) - (R(i-2, j) + R(i, j))/2$$

$$Kv^e = G(i+1, j) - (R(i+2, j) + R(i, j))/2$$

예를 들어 수평 방향 에지 영역인 경우 Kr^w, Kr^e 를 이용하고, 수직 방향 에지 영역인 경우 Kv^w, Kv^e 를 이용하여 G 채널 값을 보간한다. 영역에 적용적으로 G채널 값을 보간한다. 식(3)에 보간식을 나타내었다.

$$G(i, j) = \begin{cases} \frac{Kr^w + Kr^e}{2} + R(i, j) & V_{hor} < V_{ver} \\ \frac{Kv^w + Kv^e}{2} + R(i, j) & V_{hor} > V_{ver} \\ flat \ region & otherwise \end{cases} \quad (식 3)$$

식(3)에서 수직, 수평 에지를 구분하여 수직, 수평 방향으로 보간하고, 평탄 영역은 따로 분류하여 수행한다. 평탄 영역은 일반적으로 이웃 화소에 같은 가중치를 주고, 가중치 합으로 컬러 보간한다. 하지만 평탄영역은 에지 영역을 평탄 영역으로 잘 못 판단한 영역도 포함한다. 예를들어 CFA 패턴보다 높은 고주파 성분을 포함하는 패턴 영역인 경우, 수직, 수평 방향의 변화량이 유사하여 평탄 영역으로 잘 못 판단하는 경우가 발생한다. 이영역에서 같은 가중치 합으로 컬러 보간하면 에지를 가로지르는 방향으로 컬러 보간해서 컬러 열화가 발생한다. 잘못 판단된 에지 영역에 대한 고려로 채널 내 상관관계와, 채널간 상관관계를 이용하여 이웃 화소와 유사성 정도를 측정한다. 유사성이 클수록 큰 가중치를 주고, 작을수록 작은 가중치를 준다. 유사성에 기반 한 가중치 합수를 이용하여 평탄 영역에서 가중치 합으로 G채널 값을 보간한다. 즉 중심화소와 유사한 화소들의 가중치 합으로 컬러 보간한다. 컬러 보간 식은 식(4)에 나타내었다.

$$G(i,j) = \frac{w^w K_R^w + w^f K_R^f + w^n K_R^n + w^s K_R^s}{w^w + w^f + w^n + w^s} + R(i,j) \quad (식 4)$$

가중치 함수를 구하기 위해 같은 채널 내에서 화소 간 차를 유사성으로 측정한다. 다른 채널도 이와 유사한 특성을 가지므로 다른 채널에 대해서도 화소간 차를 구하여 유사성 척도에 반영한다. 유사성이 작을수록 큰 가중치를 주기위해 유사성 척도의 역수를 사용하여 가중치를 정하였다. 예로써 서쪽 방향 가중치 함수를 식(5)에 나타내었다.

$$w^w = 1 / (1 + |R(i,j) - R(i,j-2)| + |G(i-1,j) - G(i-1,j-2)| + |G(i+1,j) - G(i+1,j-2)|) \quad (식 5)$$

식(5)과 같은 방식으로 다른 방향에 대한 가중치 함수를 구할 수 있다.

B 위치에서 G 채널 보간은 R 위치에서의 G 채널 보간방법과 동하게 수행하여 G 채널 값을 구할 수 있다.

2.3 R, B 채널 보간

R, B 채널 보간은 G 채널 보간 방법과 유사하게 수행한다. R, B 채널의 경우 G와 다르게 주어진 샘플 수가 적어서 직접적으로 G 채널 보간 방법을 사용할 수 없다. 우선 R 채널 보간에 대해 고려해 보자. G 또는 B 위치에서 수평, 수직 방향의 컬러 차 영상을 구하기 위해서는 수평, 수직 방향에 R 채널 값이 존재해야 한다. 그래서 B 위치에서 R 채널 값을 선형 보간법을 사용하여 보간한 다음, G 위치에서 수평, 수직 방향의 컬러 차 영상을 구하여, 각 영상에서 변화량을 구한다. G 채널 보간법과 같이 변화량을 사용하여 에지, 평탄영역으로 나뉜 R 채널 값을 보간한다. R 채널에 대한 수식을 정의 하면, 식(6)과 같이 된 동, 서, 남, 북 방향으로 컬러 차 값이 재정의 된다.

$$\begin{aligned} K_R^w &= G(i,j-1) - R(i,j-1) \\ K_R^e &= G(i,j+1) - R(i,j+1) \\ K_R^n &= G(i-1,j) - R(i-1,j) \\ K_R^s &= G(i+1,j) - R(i+1,j) \end{aligned} \quad (식 6)$$

식(6)에서 G 값은 2.2장에서 보간된 G 값을 사용한다. 식(7)은 세부 영역에 딸 R 채널 보간을 잘 나타낸다. 과정은 G 채널 보간과 유사하다.

$$R(i,j) = \begin{cases} G(i,j) - \frac{K_R^w + K_R^e}{2} & V_{hor} < V_{ver} \\ G(i,j) - \frac{K_R^n + K_R^s}{2} & V_{hor} > V_{ver} \\ flat \quad region & otherwise \end{cases} \quad (식 7)$$

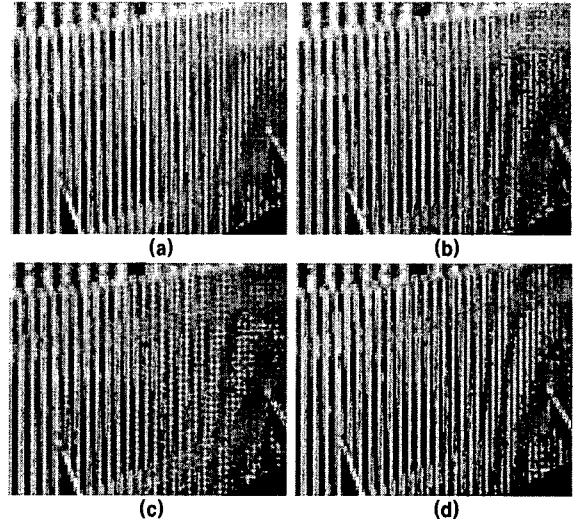
R 채널 보간에서도 평탄 영역의 경우 G 채널 보간 방법과 유사하게 이웃 화소와 유사성에 따라 가중치를 다르게 켜서 보간한다.

$$R(i,j) = G(i,j) - \frac{w^w K_R^w + w^e K_R^e + w^n K_R^n + w^s K_R^s}{w^w + w^e + w^n + w^s} \quad (식 8)$$

B 채널 보간 과정은 R 채널 보간 과정에서 유사하며, R 대신 B를 대입하여 구할 수 있다.

2.4 실험 결과

이 장에서는 제안하는 컬러 보간 알고리즘의 성능을 실험적으로 조사하였다. 실험 영상으로는 Kodak 6, 8, 9, 15, 19 을 사용하여 다양한 영상에 대해 결과 비교를 하였다. 기존 알고리즘으로 컬러 차 모델을 기반으로 한 Pei[2] 알고리즘과 에지 방향 알고리즘으로 Hamilton[4] 알고리즘을 구현하였다. Pei 알고리즘은 컬러차 도메인에서 가중치 함수로 컬러 보간하고, Hamilton 알고리즘은 수직, 수평 방향으로 기울기를 구하여 에지 판단 기준으로 사용하여 컬러 보간한다. 제안하는 알고리즘을 객관적으로 비교하기 위해 각 실험 영상에 대해 PSNR을 측정하였고, 결과 영상을 나타내었다. $PSNR = 10 \log_{10}(255^2 / MSE)$ (식 9) MSE는 결과 영상과 원 영상 사이의 평균 에러를 나타낸다. 표 1에 각 실험 영상에 대한 PSNR 결과를 나타내었다. 평균적으로 제안하는 알고리즘은 Pei 알고리즘 보다 약 5.5dB 더 높고, Hamilton 알고리즘 보다 약 4.5dB 더 높다. 실험 영상에 따라 조금씩 다르지만 전체적으로 제안하는 알고리즘의 PSNR이 기존 알고리즘 보다 더 높은 PSNR을 가짐을 확인할 수 있다. Kodak 19 영상의 경우 제안하는 알고리즘의 PSNR이 기존 알고리즘의 PSNR보다 낮게 나왔지만, 그림 2의 결과 영상을 보면 제안하는 알고리즘의 성능이 우수함을 알 수 있다. 그림 2는 각 알고리즘의 결과 영상 중 펜스 부분을 확대하여 나타내었다. Pei[2] 알고리즘의 경우 에지 영역에서 에지를 가로지르는 방향으로 컬러 보간 해서 컬러 열화가 발생하였다. Hamilton[4] 알고리즘의 경우 잘못된 에지 방향을 선택하여 컬러 보간하여 컬러 열화가 발생하였다. 제안하는 알고리즘의 경우 제안된 에지 방향 판단 기준에 의거 적절히 에지 방향을 선택하여 에지 방향에 일치하도록 컬러 보간하여 뚜렷한 컬러 열화가 나타나지 않았다. PSNR과 실험 결과 영상을 토대로, 제안하는 알고리즘이 기존 알고리즘 보다 더 우수한 성능을 가짐을 확인할 수 있다.



<그림 2> Kodak 19 영상 결과 비교; (a) 원 영상 (b) Pei[2] (c) Hamilton[4] (d) Proposed

<표 1> Kodak 영상 PSNR 비교 (dB)

실험 영상	Pei[2]	Hamilton[4]	Proposed
Kodak 6	32.04	33.51	38.45
Kodak 8	28.57	30.07	35.43
Kodak 9	36.32	36.68	41.72
Kodak 15	34.65	34.95	37.02
Kodak 19	32.85	33.61	32.01

3. 결 론

제안하는 컬러 보간 알고리즘은 고정 채널 간 컬러 차 가정을 이용한 새로운 에지방향 컬러 보간 알고리즘이다. 정확한 에지 방향 판별을 위해 수평, 수직 방향으로 컬러 차 영상을 구하고, 각 영상에서 변화량을 측정하여 에지 영역 판단 기준으로 사용하였다. 판단 기준에 따라 영역을 나누고 에지 방향에 따라 컬러 보간을 하였고, 평탄영역에서는 이웃 화소와의 유사성을 측정하여 가중치를 구하여, 가중치 함수로 컬러 보간을 하였다. 실험 결과에서 제안된 방법이 기존 방법보다 우수함을 확인할 수 있다.

[Acknowledgement]

이 논문은 2007년도 교육인적자원부 BK21 사업의 일환인 연세대학교 전기전자 공학부 TMS 사업단과 서울시 산학연협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠컨버전스 클러스터 공동지원으로 연구되었음

[참 고 문 헌]

- [1] B. K. Gunturk, J. Glotzbach, Y. Altunbasak, R. W. Schafer, and R. M. Mersereau, "Demosaicking: color filter array interpolation in single chip digital cameras", IEEE Signal Process. Mag., Vol. 22, no. 1, pp.44-54, Jan. 2005.
- [2] S. C. Pei, I. K. Tam, "Effective color interpolation in CCD color filter arrays using signal correlation", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol. 13, no. 6, pp. 503-513, June 2003.
- [3] W. Lu and Y. Tan., "Color filter array demosaicking: New method and performance measures", IEEE Trans. Image Process., Vol. 12, no. 10, pp. 1194-1210, Oct. 2003.
- [4] J. E. Adams and J. F. Hamilton Jr. "Adaptive color plane interpolation in single color electronic camera", U.S. Patent 5 506 619, Apr. 1996.
- [5] X. Wu and N. Zhang, "Primary-consistent soft-decision color demosaicking for digital cameras (Patent Pending)", IEEE Trans. Image Process., Vol. 13, no. 9, Sep. 2004.
- [6] K. Hirakawa and T. W. Parks, "Adaptive homogeneity-directed demosaicking algorithm", IEEE Trans. Image Process., Vol. 14, no. 3, pp. 360-369, Mar. 2005.