

## 에지맵 기반의 삼차 스플라인 보간 방법을 이용한 컬러 디모자이킹

\*백민규 \*\*이원진 \*\*\*정제창

\*한양대학교 전자컴퓨터통신공학

\*hundredmingyu@gmail.com \*\*veronica0083@gmail.com \*\*\*jjeong@ece.hanyang.ac.kr

## Cubic Spline Interpolation For Color Demosaicing based on Edge-map

\*Baek, Min-Gyu \*\*Lee, Won-Jin \*\*\*Jeong, Je-Chang

Dept. Electronics and Computer Eng. Hanyang University

## 요약

본 논문은 에지맵 기반의 삼차 스플라인 보간 방법을 이용한 컬러 디모자이킹 방법을 제안한다. 삼차 스플라인 보간 방법은 데이터 집합에 부드러운 곡선을 만드는 방법으로, 부드러운 영상을 만들기에 적합하다. 상, 하, 좌, 우 총 4가지 방향에 대하여 각각의 예측치를 얻어내고, 각 컬러 채널의 에지맵을 이용하여 최종적인 값을 보간한다. 실험결과에서는 기존의 보간 방법보다 주관적 화질과 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) 측면에서 더 나은 성능을 보였다.

## 1. 서론

최근 스마트 기기와 디지털 카메라와 같은 디지털 이미징 장치들이 많이 이용되고 있다. 디지털 이미징 장치는 크기가 비용에서 효율성을 가지기 위해 단일 CCD/CMOS 영상 센서를 기반으로 한다. 실제 영상은 영상 센서를 통해 인식되는데, CCD/CMOS 영상 센서는 빛의 밝기만을 인식할 수 있기 때문에 디지털 카메라는 RGB 컬러를 모두 얻기 위해 이미징 장치에 컬러 필터 배열(CFA : Color Filter Array)을 사용한다. 가장 널리 이용되는 CFA 패턴은 그림 1에 나타나 있는 베이어 패턴(Bayer pattern)이다[1]. 사람의 눈은 R 성분이나 B 성분에 비해 G 성분에 민감하게 반응 하므로 베이어 패턴에서는 G 성분이 R 성분 B 성분에 비해 두 배 많게 배치되어 있다. CFA를 통해 얻어진 이미지는 픽셀 당 한 가지 색상 정보만을 가지게 되므로 전 채널 컬러 영상을 획득하기 위하여 각 화소 위치에서 손실된 컬러 성분을 이웃 화소를 이용하여 추정하는 과정이 필요하다. 이 과정을 디모자이킹(demosaicing)이라고 한다.

지금까지 디모자이킹에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔고, 다양한 알고리즘들 또한 제안되었다. 가장 간단한 디모자이킹 알고리즘으로는 양선형 보간(Bi-linear interpolation)이 있다. 양선형 보간은 화소가 속한 영역 특성이 고려되지 않기 때문에 구현이 복잡하지 않다는 장점을 가지는 반면, 보간된 영상에서 지퍼모양의 에러나 무지개 형태의 에러를 발생시키는 문제가 있다. Cok 은 색비(color ratio)는 급하게 변하지 않는다는 사실을 발견하였고, 색비 채널(R/G, B/G)에서의 보간법을 제시하였다[2]. Pei et al. 에 의해 색차(color difference) 신호에서도 동일한 성질이 있음이 발견되었고[3], 색차(G-R, G-B) 채널을 이용한 다양한 보간법들이 제안되었다. 하지만 색비, 색차 정보를 이용한 알고리즘들은 여전히 세세한 경계를 온전하게 보간하지 못하고, 지퍼모양의 에러나 무지개 형태의 에러를 발생시키므로 이를 개선하기



그림 1. 베이어 패턴(Bayer Pattern)

위해, 상, 하, 좌, 우 방향에 대한 에지를 고려하여 각각의 방향에 대해 삼차 스플라인 보간 방법을 이용하여 예측치를 얻어내고, 에지맵에 따라 4가지 후보 중 한 가지 값이 선택되는 방법이 제안되었다[4]. 본 논문에서는 각각의 화소 위치에서 에지의 경향성을 예측함으로써 보다 좋은 결과를 이끌어내고 있다.

## 2. 기존의 알고리즘

삼차 스플라인 보간 방법은 데이터 집합을 연속적으로 가장 부드럽게 이어 주는 방법으로 CFA demosaicing 에 적합하다. 삼차 스플라인 보간 방법은 절점 사이의 각 구간에 대해서 다음과 같은 형태의 3차 다항식들로 나타내는 것이다[4].

$$f_i(x) = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i \quad (1)$$

그러므로  $n + 1$  개의 데이터 점들에 대해서는  $n$ 개의 구간이 존재하며, 또한  $4n$ 개의 미지수가 결정되어야 한다. 그림 2에서  $n = 3$  일 때, 왼쪽 방향에 대해 보여주고 있다. 따라서 4개의 Green pixel을 이용하게 되고,  $B_5$  위치에서의 Green pixel의 예측치를 구하기 위해 아래와 같은 세 가지 스플라인 식이 요구된다.

$$\begin{aligned} f_0(x) &= a_0x^3 + b_0x^2 + c_0x + d_0 \text{ for } x \in [0, 2] \\ f_1(x) &= a_1x^3 + b_1x^2 + c_1x + d_1 \text{ for } x \in [2, 4] \\ f_2(x) &= a_2x^3 + b_2x^2 + c_2x + d_2 \text{ for } x \in [4, 6]. \end{aligned} \quad (2)$$

위의 식을 보면, 값이 정해지지 않은 계수가 12개이다. 유일한 값을 얻기 위해서는 12개의 식이 필요하다. 또한, 삼차 스플라인 보간에서는 아래 세 가지 조건이 만족되어야 한다.

$$\begin{aligned} \text{1st condition: } & f_{i-1}(x_i) = f_i(x_i) \text{ for } i = 1, 2 \\ \text{2nd condition: } & f'_{i-1}(x_i) = f'_i(x_i) \text{ for } i = 1, 2 \\ \text{3rd condition: } & f''_{i-1}(x_i) = f''_i(x_i) \text{ for } i = 1, 2. \end{aligned} \quad (3)$$

위의 세 가지 조건과 색차(color difference) 정보를 이용하여 12개의 계수의 유일한 값을 얻을 수 있다. 계수의 값을  $B_5$  위치에 있는 식에 대입시켜 풀어나면 아래와 같은 왼쪽 방향에서의 보간식을 얻을 수 있다.

$$G_5^L = \frac{1}{48} \{ G_0 + 23G_2 + 23G_4 + G_6 + 8(B_3 - B_1) + 40(B_5 - B_3) \}. \quad (4)$$

오른쪽, 위쪽, 아래쪽 방향의 예측치 역시 비슷한 방법으로 얻어질 수 있다. 다음으로 4가지 방향의 예측치 중 어떤 방향을 선택할지 판단하는 단계가 있다. 일단, 에지 방향에 따라 에지맵을 구하는 방법이 사용된다. 에지맵은 현재 보간 해야할 화소를 기준으로 상하의 픽셀의 차분치의 절댓값인 V와 좌우 픽셀의 차분치의 절댓값인 H에 따라 결정된다[5].

$$edgemap(V < H) = \begin{cases} 1, & \text{if } V < H \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

위의 식에서 1은 수직 방향으로 에지가 있음을 의미하고 반대로 0은 수평방향의 에지가 있음을 의미하게 된다. 이제 에지맵의 값에 따라 최종 보간값이 결정되게 되는데, 만약 현재 보간해야할 화소의 위치에서 에지맵의 값이 1이라면 상, 하, 좌, 우 네 가지 방향 중 위쪽 방향과 아래쪽 방향이 선택될 가능성을 높이는 방향으로 결과 값을 뽑아내야 한다.

### 3. 제안하는 알고리즘

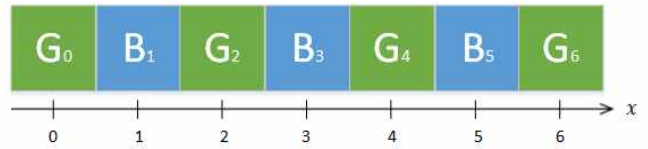


그림 2. 왼쪽 방향의 삼차 스플라인 보간

본 논문에서는 네 가지 방향에 대한 예측치 중 에지맵에 따라 가장 가능성이 높은 방향을 선택하여 보간하는 방법에 초점을 맞추고 있고, 기존의 알고리즘에서 에지맵은 간단한 연산을 통해 구해지기 때문에 더욱 정확성을 높이는 과정이 필요하다. 또한, 에지맵에 따른 값이 자연 영상의 경향성에 맞지 않을 경우에 대비하여 최대한 이상값을 없애는 과정을 포함하고 있다.

현재 위치의 에지맵의 값이 주변의 값의 경향성을 따른다고 가정한다. 그림 3과 같이  $3 \times 3$  단위로 현재 화소의 주변 8개의 이웃 화소의 에지 경향성을 파악하여 잘못된 에지 판정을 갱신하는 방법을 사용한다. 예를 들어 그림 3을 보면 현재의 화소가 수평에지라고 판별되었지만, 주변 8개의 이웃화소들의 경향성을 파악해 보면 수평에지로 파악된 이웃화소가 2개인 반면 수직에지는 6개로 판별되었다. 따라서 현재 화소는 수직에지일 가능성이 많다고 할 수 있으므로 에지맵을 이에 따라 수직에지로 갱신한다. 이와 같은 방법을 이용하여 에지맵을 갱신하는 과정을 거치게 되면, 주변의 화소들을 고려하여 에지 방향이 잘못 판정될 가능성을 줄일뿐더러 주변 픽셀과 같은 방식을 이용하여 보간하도록 만들어서 이전보다 더욱 자연스러운 영상을 얻을 수 있다.

G 채널이 보간되고 나면, R 채널과 B 채널을 보간하는 과정이 있어야 한다. 베이어 패턴에서 R과 B 채널은 G 채널 개수의 반이지만, 이미 G 채널이 보간된 상태이기 때문에 G 채널 보간 결과와 채널 간 상관관계를 이용하여 쉽게 얻을 수 있다. R 채널 보간과 B 채널 보간은 완전히 같은 방법으로 보간된다. R 채널과 B 채널 보간에도 역시 G 채널과 같이 상, 하, 좌, 우 네 가지 방향을 고려하여 에지맵에 따라 가장 적절한 방향을 선택하는 과정을 거치게 된다. G 채널을 보간하기 위해 삼차 보간식을 이용한 반면, R 채널과 B 채널은 이미 보간된 G 채널과 채널간의 상관관계를 이용하여 일차식으로 구할 수 있다.

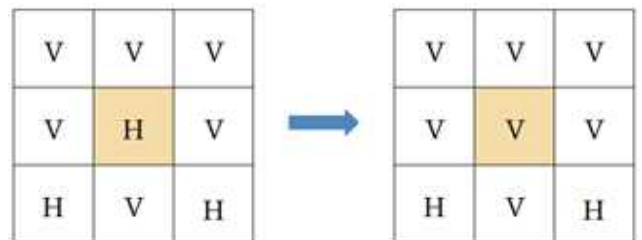


그림 3. 에지맵의 갱신

### 4. 실험결과

실험에서는 컬러 보간 성능 비교에 주로 사용되는 KODAK 영상들을 사용하였다. 9개의 KODAK 영상은 그림 4와 같다. 이 실험을 위하여 원본 KODAK 영상을 베이어 패턴에 맞게 다운 샘플링하는 과



그림 4. KODAK 영상. 좌에서 우로 위에서 아래로 1~9.

정을 거쳤으며, 다시 컬러 보간 알고리즘을 이용하여 전체 컬러 영상을 획득하는 방법을 사용하였다.

제안하는 알고리즘의 성능을 살펴보기 위해 기존 알고리즘들과 PSNR과 실제 알고리즘을 통해 획득한 주관적인 화질을 비교하였다. 비교하는 알고리즘으로는 양선형 보간법(Bi-linear interpolation), 삼차 스플라인 보간법(Cubic spline interpolation)[4]을 사용하였다.

표 1은 제안하는 방법과 기존 컬러 보간 방법의 PSNR값을 나타낸다. 표 1에서 볼 수 있듯이 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 PSNR 측면에서 최소 0.07에서 최대 1.39dB 까지 향상되었음을 볼 수 있었다. 또한, PSNR의 평균에서도 약 0.5dB 정도 향상되었음을 볼 수 있다.

그림 5에서는 표 1에서 지시하는 A, B, C 알고리즘을 통해 복원한 8번 영상의 확대된 모습이 나타나 있다. 그림 5를 확인해보면 양선형 보간법이나 삼차 스플라인 보간법으로 복원된 영상보다 지퍼모양의 예러나 무지개 형태의 예러가 많이 사라진 것을 볼 수 있다.

표 1. 기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘의 PSNR (dB) 비교  
(A) 양선형. (B) 삼차 스플라인 [5]. (C) 제안된 알고리즘.

영상	A	B	C
1	33.16	38.86	40.25
2	26.71	35.26	35.70
3	27.85	36.43	36.50
4	23.85	34.01	34.63
5	32.49	40.39	41.13
6	29.18	38.17	38.19
7	33.54	40.64	41.40
8	31.35	39.28	39.29
9	28.10	37.87	38.42
평균	29.58	37.88	38.39

## 5. 결론

본 논문에서는 에지맵 기반의 삼차 스플라인 보간 방법을 이용한

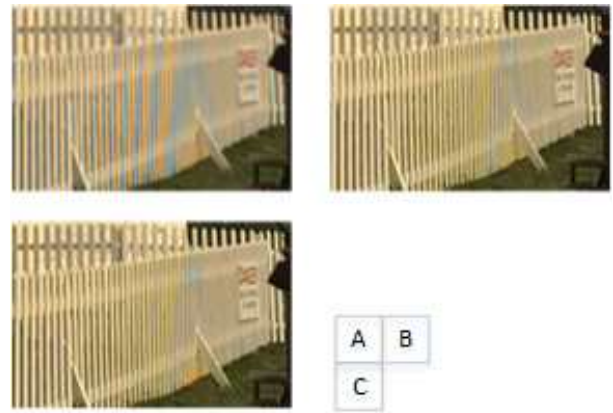


그림 5. 복원된 8번 영상의 주관적 화질 비교.

베이어 패턴 디모자이크 방법을 제안하였다. 기존의 삼차 스플라인 보간 방법에 더해 에지맵을 주변 경향성에 따라 새롭게 에지맵을 갱신하는 과정을 거치게 된다. 에지맵을 갱신하는 과정을 거치면서 잘못된 에지 예측 값을 바꿀 수 있고, 이에 따라 자연스러운 영상을 얻는 것을 목적으로 하였다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기존의 알고리즘보다 PSNR 측면에 향상된 결과를 얻었다.

## 감사의 글

"본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2013-H0301-13-1011)

## 참고문헌

- [1] B. E. Bayer, "Color imaging array," *U.S. Patent 3971065*, Jul.1976.
- [2] D. R. Cok, "Signal Processing method and apparatus for producing interpolated chrominance values in a sampled color image signal," *U.S. Patent 4642678*, Feb. 1987.
- [3] S.C. Pei and I. K. Tam, "Effective color interpolation in CCD color filter arrays using signal correlation," *IEEE Trans.Circuit Syst. Video Technol.*, Vol.13, No.6, pp.503-513, Jun. 2003.
- [4] J. S. J. Li and S. Randhawa, "CFA demosaicking using cubic spline interpolation," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2007, pp. I 865-868.
- [5] J. S. J. Li, and S. Randhawa, "Color filter array demosaicking using high order interpolation techniques with a weighted median filter for sharp color edge preservation," *IEEE Trans-actions on Image Processing*, Vol.18, No.9, 2009.