

싱글 센서 디지털 카메라를 위한 CFA의 다양한 패턴 비교 분석

서경희* · 유훈*

*상명대학교

Comparative Analysis of Color Filter Array Patterns for Single Sensor Digital Camera

Kyunghee Seo* · Hoon Yoo*

*SangMyung University

E-mail : crs6367@hotmail.com

요 약

이 논문은 디지털 카메라의 싱글 센서에 있는 CFA의 다양한 패턴을 비교, 분석하는데 목적을 두고 있다. 이미 널리 쓰이고 있는 패턴들이 있으나, 이미지들은 간혹 사람들이 실제로 보는 것보다 어둡게 나오거나 밝게 나오거나 또는 약간의 노이즈 현상, 블러 현상을 보여주기도 한다. 이를 개선하기 위해 아직도 많은 학자들이 패턴의 연구를 하고 있다. 이 연구는 Bayer 패턴을 포함하여 7개의 패턴을 실험한다. 실험의 객관성을 위해 보간법은 선형방법으로 통일 하여 실험한다. 실험 결과는 패턴의 다양성이 이미지 향상에 크게 영향을 주지 않는다는 걸 보여준다. 그리고 패턴에 따라 그에 맞는 보간법이 필요하다는 것을 보여준다.

ABSTRACT

This paper presents comparison and analysis of various CFA patterns which are used in single sensor digital camera. There are several patterns which are already used, however, images are sometimes darker or brighter than what human see in real life. Also, images show some noise and blurring. To overcome this problems, many studies on the patterns have been discussed. We carry out experiment with seven patterns including the Bayer pattern. The bilinear method is selected for a interpolation method. The experimental result indicates that image quality is not affected by individual patterns and each pattern requires its own interpolation method.

키워드

Bayer, CFA pattern, Single Sensor, Digital Camera,

1. 서 론

디지털 카메라의 소형화와 저 전력 그리고 화질의 향상이 요구됨에 따라 Image processing에 있어서 많은 연구가 이루어져 왔다. 이러한 연구들을 바탕으로 많은 디지털 카메라가 Bayer의 CFA를 사용한 단일 이미지 센서를 사용하고 있다. 디지털 카메라에서는 빛이 멀티 렌즈와 경통으로 구성된 광학 시스템을 통해 이동하여 수백만 화소로 구성된 디지털 센서 배열에 부딪힌다. 빛이 픽셀 배열에 부딪힐 때 R, G, B 빛만 해당 컬러 필터 배열을 통과한다. Bayer의 CFA를 이용한 이미지 센서로부터 얻어진 이미지들은 각 픽셀에 하나의 컬러 값만을 갖기 때문에 완전한 영상으로 복원해야 하는 또 다른 처리가 필요하다.

Bayer 배열의 RGB 패턴 기술 분석 - 일반적으로 디지털 카메라에서 R, G, B 세 가지 색을 모두 센서로 사용하기에는 비용과 공간의 문제가 생기

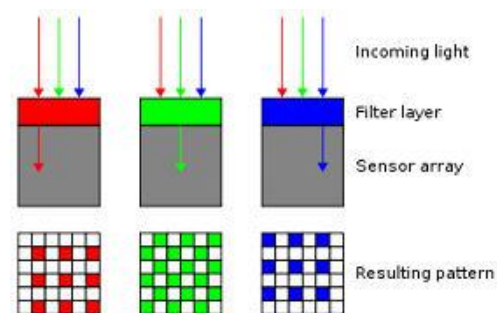


그림 1. single 센서를 통과하는 빛(RGB)

기 때문에 single 센서를 사용한다. 이렇게 받아들인 R, G, B의 세 가지 컬러를 최적의 방법으로 배열하는 패턴이 바로 Bayer에 의해 개발된 패턴이다. 여기서 R과 B보다 G의 비율이 더 많은 이유는 인간이 색상 정보를 받아들일 때 G영역을 가장 많

이 받아들이기 때문이다.

본 논문에서는 Bayer 패턴을 포함, 7개 패턴의 실험을 통해 서로 비교하여 어떤 패턴이 이미지의 질을 더욱 향상시키는지 알아본다. 특히, test7은 새로운 개념인 투명정도를 넣어서 실험하였다. 각각의 분석을 통한 결과물들을 도출하고 이를 토대로 마지막 부분에서 결론을 맺는다. 실험의 객관적인 비교를 위하여 그림 2에 있는 Kodak에서 제공하는 이미지 24개를 사용하였음을 가정으로 한다.



그림 2. Kodak에서 제공하는 이미지 24개

II. 다양한 CFA 패턴

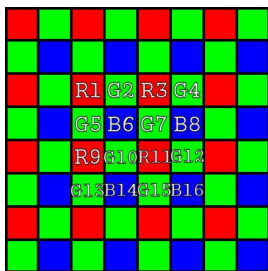


그림 3. test1의 패턴[2]

test1은 가장 널리 쓰이는 Bayer 패턴이다. □는 보간 된 컬러 값을 의미한다.

R의 보간 방법은 다음과 같다.

$$R2' = (R1+R3)/2, R5 = (R1+R9)/2$$

G의 보간 방법은 다음과 같다.

$$G6' = (G2+G5+G7+G10)/4$$

B의 보간 방법은 다음과 같다.

$$B7' = (B6+B8)/2, B10 = (B6+B14)/2$$

test2의 패턴은 Bayer와 비교해 G의 위치가 일직선의 형태가 되도록 바뀌었고, 그 빈도수는 같다. 여기서 R과 B의 경우는 세로방향의 보간법이 완료된 후, 가로 방향의 보간법 가능하다.

R의 보간 방법은 다음과 같다.

$$R10' = (R6+R14)/2, R3 = (R2+R4)/2$$

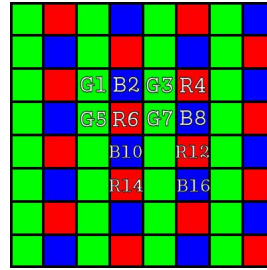


그림 4. test2의 패턴[3]

G의 보간 방법은 다음과 같다.

$$G2' = (G1+G3)/2$$

B의 보간 방법은 다음과 같다.

$$B6' = (B2+B10)/2, B3 = (B2+B4)/2$$

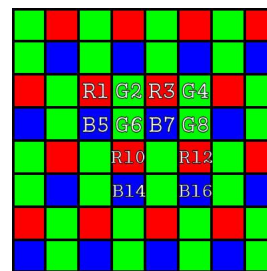


그림 5. test3의 패턴[4]

test3의 패턴은 Bayer와 비교해 G의 위치만 바뀌었고, 그 빈도수는 같다. 여기서 R과 B의 경우는 가로방향의 보간법이 완료된 후, 세로 방향의 보간법 가능하다.

R의 보간 방법은 다음과 같다.

$$R2' = (R1+R3)/2, R6 = (R2+R10)/2$$

G의 보간 방법은 다음과 같다.

$$G2' = (G1+G3)/2$$

B의 보간 방법은 다음과 같다.

$$B6' = (B5+B7)/2, B10 = (B6+B14)/2$$

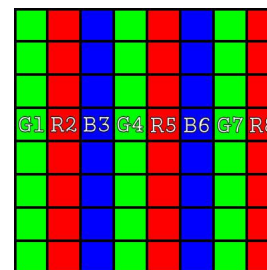


그림 6. test4의 패턴[4]

test4의 경우 중간 값을 구하기 위해 거리와 반비례하는 가중치를 주어 보간 하였다.

R의 보간 방법은 다음과 같다.

$$R3' = (2*R2+R5)/3, R4 = (R2+2*R5)/3$$

G의 보간 방법은 다음과 같다.

$$G2' = (2*G1+G4)/3, G3 = (G1+2*G4)/3$$

B의 보간 방법은 다음과 같다.

$$B4' = (2*B3+B6)/3, B5 = (B3+2*B6)/3$$

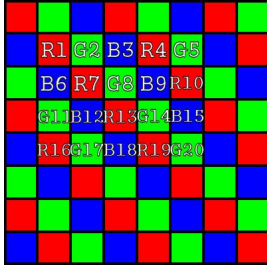


그림 7. test5의 패턴[4]

test5는 RGB 세 가지 컬러가 대각선으로 구성되어 있다. 가능한 주변 값들을 최대한으로 활용하기 위해 거리와 반비례하는 가중치를 주어 보간 하였다.

R의 보간 방법은 다음과 같다.

$$R8' = (1.4*R7+1.4*R13+R4)/3.8$$

$$R9' = (1.4*R4+1.4*R10+R13)/3.8$$

G의 보간 방법은 다음과 같다.

$$G12' = (1.4*G11+1.4*G17+G8)/3.8$$

$$G13' = (1.4*G8+1.4*G14+G17)/3.8$$

B의 보간 방법은 다음과 같다.

$$B7' = (1.4*B6+1.4*B12+G3)/3.8$$

$$B8' = (1.4*B3+1.4*B9+B12)/3.8$$

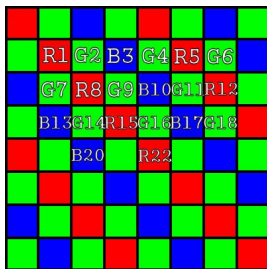


그림 8. test6의 패턴[4]

test6은 test5와 마찬가지로 RGB 세 가지 컬러가 대각선으로 구성되어 있다. R과 B의 경우는 충분한 주변 값이 없기 때문에 1차적으로 G위치의 R', B'값을 구한 다음에 R', B'값을 다시 사용하여 나머지 부분을 채워야한다.

R의 보간 방법은 다음과 같다.

$$R11' = \{3*((R5+R12)/2)+((R15+R22)/2)\}/4$$

$$R16' = \{3*((R15+R22)/2)+((R5+R12)/2)\}/4$$

$$R10' = (R4'+R9'+R11'+R16')/4$$

G의 보간 방법은 다음과 같다.

$$G8' = (G2+G7+G9+G14)/4$$

$$G10' = (G4+G9+G11+G16)/4$$

B의 보간 방법은 다음과 같다.

$$B9' = \{3*((B3+B10)/2)+((B13+B20)/2)\}/4$$

$$B14' = \{3*((B13+B20)/2)+((B3+B10)/2)\}/4$$

$$B8' = (B2'+B7'+B9'+B14')/4$$

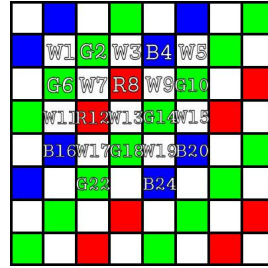


그림 9. test7의 패턴[5]

test7은 투명도를 나타내는 W컬러를 포함한다. W는 빛을 받아들일 때 RGB의 평균값으로 정의되어 있다. test7은 W, G, R'(B')순서로 보간 하게 된다.

W의 보간 방법은 다음과 같다.

$$W2' = (W1+W3)/2$$

G의 보간 방법은 다음과 같다.

$$G7' = \{3*((G2+G6)/2)+((G16+G18)/2)\}/4$$

$$G13' = \{3*((G16+G18)/2)+((G2+G6)/2)\}/4$$

$$G8' = (G7'+H9')/2$$

B의 보간 방법은 다음과 같다.

$$B8' = 3*W8'-(G8'+R8)$$

$$B12' = 3*W12'-(G12'+R12)$$

B8과 B12에 W를 이용하여 B값을 추측한 다음,

$$B13' = \{3*((B8'+B12')/2)+((B20+B24)/2)\}/4$$

$$B19' = \{3*((B20+B24)/2)+((B8'+B12')/2)\}/4$$

$$B14' = (B13'+B15')/2$$

R의 보간 방법은 다음과 같다.

$$R4' = 3*W4'-(G4'+B4)$$

$$R16' = 3*W16'-(G16'+B16)$$

R4와 R16에 W를 이용하여 R값을 추측한 다음,

$$R13' = \{3*((R8+R12)/2)+((R20'+R24')/2)\}/4$$

$$R19' = \{3*((R20'+R24')/2)+((R8+R12)/2)\}/4$$

$$R14' = (R13'+R15')/2$$

표 1. simulation result (dB)

	test1	test2	test3	test4	test5	test6	test7
Img1	26.25	26.45	26.22	25.27	26.51	25.88	24.03

Img2	33.34	32.92	33.06	31.46	33.07	32.33	30.12
Img3	34.54	34.68	34.66	33.74	33.53	32.93	28.45
Img4	33.78	33.62	33.58	31.88	33.38	32.40	30.35
Img5	26.70	26.53	26.41	24.31	26.16	25.12	22.71
Img6	27.91	28.28	28.05	28.56	28.34	27.85	24.31
Img7	33.49	33.45	33.39	31.38	33.47	32.19	28.55
Img8	23.70	23.27	23.43	21.09	24.60	23.66	20.02
Img9	32.54	32.36	32.32	29.10	32.93	31.84	29.15
Img10	32.52	32.31	32.11	29.91	33.17	32.11	28.43
Img11	29.28	29.22	29.17	27.90	29.42	28.71	26.05
Img12	33.44	33.61	33.37	31.91	33.65	32.85	30.42
Img13	23.94	23.96	23.88	23.02	23.82	23.30	20.93
Img14	29.40	29.29	29.28	27.90	29.24	28.35	25.66
Img15	32.35	31.75	32.01	29.27	32.51	31.48	27.42
Img16	31.38	32.02	31.65	33.24	31.75	31.39	28.97
Img17	32.17	32.07	31.95	30.30	31.83	31.11	28.41
Img18	28.03	27.75	27.69	25.71	27.99	27.19	24.06
Img19	28.13	27.79	27.89	25.54	28.64	27.65	24.66
Img20	31.70	31.44	31.42	29.49	31.66	30.81	20.88
Img21	28.59	28.80	28.63	28.22	28.98	28.30	24.98
Img22	30.57	30.18	30.28	28.10	30.72	29.83	25.44
Img23	35.12	35.10	35.07	32.90	34.97	33.58	26.24
Img24	26.75	26.63	26.64	25.14	26.45	25.81	22.67
평균	30.23	30.14	30.09	28.59	30.28	29.44	25.95

IV. 결 론

실험의 CPSNR값을 비교해본 결과, 사람의 시각으로 구별 될 정도의 화질의 차이는 나타나지 않는다. Test1, Test2, Test3, Test5, Test6은 1dB이하의 미세한 차이만을 보이고 있다.

Test4와 Test7의 경우 두드러지게 dB값이 떨어지는 것을 볼 수 있다. Test4는 전체적으로 dB 값이 떨어지지만 img6, img13, img21은 다른 test와 비슷한 수치를 보이고, img16은 다른 test들보다 더 좋은 화질을 보여주고 있다. 이 이미지들의 공통점은 색의 변화가 거의 없는 바다나 하늘 위주의 이미지였다는 점이다. test4 패턴의 특성상 G, R, B 컬러가 일렬로 배치되어있다는 점을 반영하여 bilinear방법 대신 방향성을 고려한 보간법을 사용하면 더 좋은 결과가 나올 것이라고 본다.

Test7은 W라는 투명정도를 사용하여 더 향상된 결과를 기대하였지만 오히려 더 떨어지는 결과를 볼 수 있다. 픽셀 하나하나를 분석하여 보면 두 가지 문제점을 발견할 수 있다. 하나는 처음에 받아들이는 R, G, B의 평균값인 W에 의존하여 비어있는 R, G, B를 역으로 계산하기 때문에 갑작스러운 색의 변화를 전혀 잡아내지 못하고 있다. 예로 R값만 큰 변화를 보이고 G와 B는 비슷한 패턴이지만 W를 사용하면 세 컬러다 큰 변화를 가지기 때문에 정확한 결과가 나오기 힘들다. 또 하나는 overflow현상도 발생하여 0 또는 255의 값을 갖는

픽셀들이 존재하기 때문이다.

전체적인 평균으로 보면 test5가 가장 좋은 결과를 가지고 있다. test6도 test5와 같이 대각선 패턴을 가지고 있지만 test6이 조금 떨어지는 이유는 원 색상을 사용하느냐의 문제인 것 같다. test 5는 주변 색상을 가지고 평균을 낸 값으로 보간 하지만, test6은 주변 값이 부족하여 한번 보간 된 색상을 가지고 다시 한 번 보간 하는 방식이었다는 점에서 test5와 차이를 두고 있다.

더 좋은 결과를 예상한 패턴에서 기대에 미치지 못한 결과가 나온 이유는 그 패턴에 가장 어울리는 보간법을 사용하지 않아서이다.

참고문헌

- [1] 유훈, "유비쿼터스 기술에 적합한 알기 쉬운 디지털 영상처리", 도서출판 미래컴, 81-84, 162-166, 2008.
- [2] B.E. Bayer, "Color imaging array," U.S. Patent 3,971,065, July 1976.
- [3] S. Yamanaka, "Solid state color camera," U.S. Patent 4,054,906, August 1977.
- [4] R. Lukac and K.N. Plataniotis, "Color filter arrays: Design and performance analysis," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 51, no. 4, pp. 1260-1267, November 2005.
- [5] T. Kijima, H. Nakamura, J. Compton, and J. Hamilton, "Image sensor with improved light sensitivity," U.S. patent Application 2007,0,177,236, August 2007.
- [6] John F. Hamilton, Jr.; James E. Adams, Jr., "Adaptive color plan interpolation in single sensor color electronic camera" U.S. Patent 5,629,734, 1997.
- [7] Rastislav lukac, "Single-Sensor imaging (Methods and Applications for Digital cameras)", CRC Press(Taylor&Fransic Group), 141, 2009.