

C군의 네버엔딩 스토리,

디지털 영상처리의

이해 - 3

지난 연재에서 카메라를 통한 컬러영상의 취득에 대한 내용을 다루며 프리즘을 이용한 분광기와 세 개의 이미지 센서를 이용한 방식에 대한 설명에 이어 [그림 1]과 같은 컬러 필터의 배열인 CFA(Color Filter Array)를 이미지 센서에 부착하여 컬러영상을 취득하는 방식이 있다고 소개만 드렸습니다. 그래서 이번 연재에서는 CFA를 부착한 한 개의 이미지 센서로 컬러영상을 취득하는 원리를 설명해 드리겠습니다.

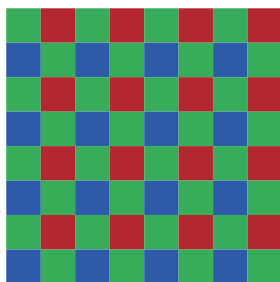


그림 1. CFA (Color Filter Array)



그림 2. 2G-Bayer 패턴의 기본 단위 블록

[그림 1]의 CFA는 2G-Bayer CFA(Color Filter Array)라고 불리는 ‘컬러 필터 배열’입니다. 이미지 센서의 각 화소에 하나의 컬러 필터가 대응되며, Bayer라는 사람에 의해 고안되었고, 여러 종류의 CFA 중 가장 널리 쓰이는 패턴의 CFA입니다. 2G-Bayer CFA의 가장 큰 특징은 [그림 2]와 같은 2x2의 기본 단위 블록을 수평 및 수직 방향으로 반복하여 구성되며, 2x2 기본 단위 블록 내에 빛의 3원색에 대응되는 빨강 필터 1개, 초록 필터 2개, 파랑 필터 1개를 가지고 있는 것입니다. 2G-Bayer CFA라는 이름에서 2G는 2x2 기본 단위 블록 내에 초록(Green) 필터가 2개 사용되는 것에서 나온 것입니다.

그렇다면 2G-Bayer CFA에서는 왜 2x2 기본 단위 블록에서 초록(G) 필터만 2개를 사용하는 것일까요? 다른 색(빨강, 파랑)은 별로 중요하지 않은 것일까요? 대답은 너무도 손쉽게 다음과 같습니다.

“네, 초록이 중요해서 2개 사용하는 것입니다.”

인간이 시각을 통해 사물을 인식할 때, 색보다는 명암을 통해 얻는 정보가 많다는 이야기를 들어보셨을 것 같습니다. 시각을 통해 휘도 정보를 얻을 때 인간의 눈이 가장 민감하게 반응하는 가시광선의 파장 영역은 중간 영역입니다. 그리고 가시광선의 파장 영역 중 중간에 해당하는 파장을 가지는 색이 초록입니다(파랑은 단파장 영역에, 빨강은 장파장 영역에 속함). 엄밀하지는 않지만, 쉽게 표현하

면 인간에게는 색정보 보다는 휘도정보가 중요하고, 초록이 휘도와 관련이 높은 색이므로 [그림 2]와 같이 2G-Bayer CFA에서 초록 필터를 빨강이나 파랑 필터보다 2배 많이 사용하는 것입니다. 덧붙이면 이 휘도와 관련된 설계원리가 타당하므로 2G-Bayer CFA가 가장 많이 쓰이게 된 것 같습니다.

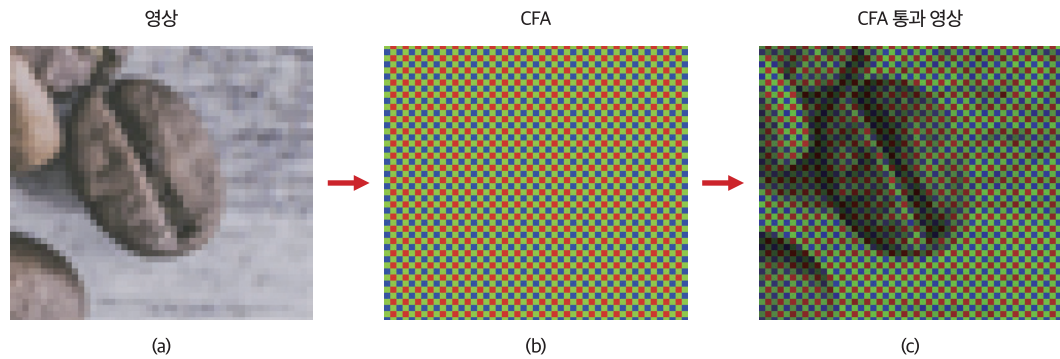


그림 3. CFA를 통과한 영상

[그림 3]은 CFA를 통과한 영상이 어떻게 변화하는지 보여주고 있습니다. [그림 3]의 (a)는 커피 원두 사진입니다. 화소단위의 변화를 설명하기 위해 화소가 구분되게 확대 되었으므로 저해상도 영상처럼 보입니다. [그림 3]의 (a) 영상이 [그림 3]의 (b)와 같은 배열의 CFA를 지나면 [그림 3]의 (c)와 같이 화소마다 빨강, 초록, 파랑 셋 중 하나의 색만 갖는 영상으로 변화합니다.

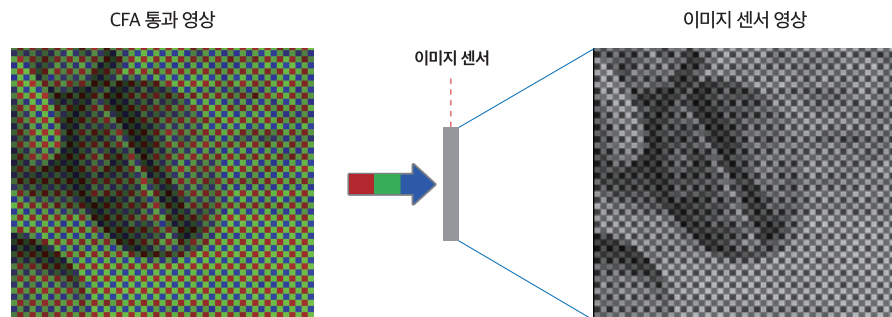


그림 4. 2G-Bayer CFA를 사용한 이미지 센서의 데이터

[그림 4]는 2G-Bayer CFA에 의해 이미지 센서의 각 화소에 빛의 3원색 중 하나의 색만이 도달하여 데이터로 변환된 것을 보여줍니다. [그림 4]에서 좌측의 'CFA 통과 영상'과 우측의 '이미지 센서 영상'의 상관관계에 관해 추가적인 설명을 드리면 다음과 같습니다. 8비트 컬러영상은 빨강, 초록, 파랑을 나타내기 위해 원색 별로 0~255의 $256(2^8)$ 단계 데이터를 사용하고, 10비트 컬러영상은 빨강, 초록, 파랑을 나타내기 위해 원색별로 0~1023의 $1024(2^{10})$ 단계 데이터를 사용합니다. 8비트 컬러영상과 10비트 컬러영상 모두 0은 해당 원색이 없음을 의미하며, 255 또는 1023은 해당 원색의 최대치를 의미합니다. 예로 8비트 영상에서 검정은 [빨강 = 0, 초록 = 0, 파랑 = 0]이며, 백색은 [빨강 = 255, 초록 = 255, 파랑 = 255]이고, 검정과 흰색의 중간 회색은 [빨강 = 128, 초록 = 128, 파랑 = 128]입니다. 또한, 가장 진한 빨강은 [빨강 = 255, 초록 = 0, 파랑 = 0], 가장 진한 초록은 [빨강 = 0, 초록 = 255, 파랑 = 0], 가장 진한 파랑은 [빨강 = 0, 초록 = 0, 파랑 = 255]입니다. 이 외에도 빨강, 초록, 파랑을 나타내는 값의 비율에 따라 다양한 색상을 표현할 수 있습니다. 10비트 이상의 컬러영상 데이터도 사용이 가능하지만, 가장 보편적으로 쓰이는 것은 8비트 컬러영상이므로 8비트 체계로 설명을 계속 이어가겠습니다. 지난 연재에서도 말씀드렸듯 이미지 센서는 빛의 색을 측정하는 소자가 아닌, 빛의 세기를 측정하는 소자입니다. 그래서 2G-Bayer CFA를 통과하여 화소마다 하나의 원색만 갖는 영상이 이미지 센서에서 데이터로 변환하면 화소마다 0~255 사이의 값

을 갖는 데이터의 배열이 되며, 이를 데이터 값에 대응되는 흑백의 밝기로 표현한 것이 [그림 4] 우측의 '이미지 센서 영상'입니다. [그림 4] 우측의 '이미지 센서 영상'에서 색정보가 완전히 사라진 것 같이 보이지만, 각 화소의 위치에 대응되는 2G-Bayer CFA의 필터 색상을 알고 있으므로, 각 화소에서 측정된 값이 어느 원색에 대응되는지에 관한 정보가 사라진 것은 아닙니다.

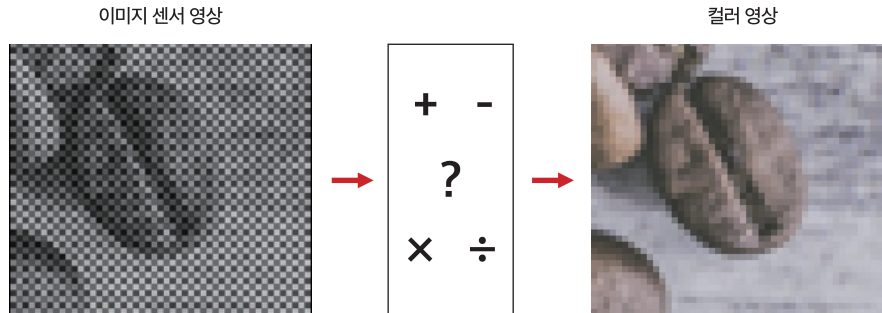


그림 5. 이미지 센서 데이터를 이용한 컬러영상 재구성

2G-Bayer CFA가 장착된 이미지 센서를 이용하여 화소마다 빨강, 초록, 파랑의 3원색 중 하나의 성분만 갖는 영상 데이터를 얻었다면 남은 속제는 [그림 5]와 같이 $\frac{2}{3}$ 의 색정보가 사라진 이미지 센서의 데이터로부터 어떻게 산술적 과정을 통해 컬러영상을 재구성하는가 입니다. 컬러영상을 재구성해야 하는 이유는 당연히 카메라의 출력은 컬러영상이어야 하기 때문입니다. 사라진 정보는 다시 복원할 수 없는 것 같은데 어떻게 $\frac{1}{3}$ 의 색정보만을 가지고 컬러영상을 재구성할 수 있을까요? 이를 위해 다음과 같은 가정을 합니다.

“영상의 인접한 화소는 상호 연관성이 높아 급격한 색상변화가 없다.”

위와 같은 가정을 사용하면 화소마다 잃어버린 2개의 원색 정보를 주변의 원색 정보를 이용하여 보간(Interpolation)하는 방법을 쓸 수 있습니다. 2G-Bayer CFA를 사용한 이미지 센서에서 사라진 원색에 대한 정보를 보간하는 방법은 필터의 공간적 배열 특성과 무관하지 않습니다. 다행히 2G-Bayer CFA에서는 필터 배열이 주기적으로 반복되는 형태여서 비교적 간단하게 사라진 원색의 값을 보간할 수 있습니다. 실제로는 복잡한 이론을 동반하여 고도화된 방법으로 사라진 원색 값을 보간하지만, 여기에서는 기본적 아이디어를 설명하는 것이 목적이므로 가장 단순한 방법을 예로 들어 사라진 원색 값을 보간하는 것을 설명하겠습니다.

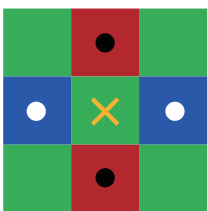


그림 6. 초록 원색 값을 갖는 화소에서의 빨강, 파랑 원색 값 보간

우선, 초록 원색 값을 갖는 화소에서 빨강, 파랑 원색 값을 보간하는 방법을 설명하기 위해 [그림 6]을 이용하겠습니다. 이미지 센서의 화소 위치로부터 대응되는 컬러 필터의 색상을 알 수 있으므로, 편의를 위해 화소마다 대응되는 컬러 필터의 색을 입혔습니다. [그림 6]의 중앙에 X로 표시된 초록 원색 값을 갖는 화소는 상하로 빨강 원색 값을 갖는 화소(검은 점으로 표시)와 인접하고 있으며, 좌우로 파랑 원색 값을 갖는 화소(흰 점으로 표시)와 인접하고 있습니다. 이 경우 X로 표시된 초록 원색 값만을 갖는 화소에서의 빨강 원색 값은 상하의 빨강 원색 값의 평균을, 파랑 원색 값은 좌우의 파랑 원색 값의 평균을 사용할 수 있습니다.

이어서 [그림 7]의 중앙에 X로 표시된 빨강 원색 값을 갖는 화소는 상하좌우로 초록 원색 값을 갖는 4개의 화소(검은 점으로 표시)와 인접하고 있으며, 대각방향으로 파랑 원색 값을 갖는 4개의 화소(흰 점으로 표시)와 인접하고 있습니다. 이 경우 X로 표시된 빨강 원색 값만을 갖는 화소에서의 초록 원색 값은 상하좌우의 초록 원색 값의 평균을, 파랑 원색 값은 대각방향의 파랑 원색 값의 평균을 사용할 수 있습니다.

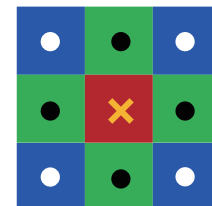
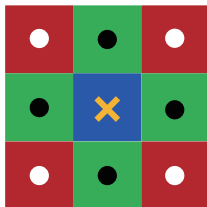


그림 7. 빨강 원색 값을 갖는 화소에서의 초록, 파랑 원색 값 보간

그림 8. 파랑 원색 값을 갖는 화소에서의 빨강, 초록 원색 값 보간



마지막으로 [그림 8]의 중앙에 X로 표시된 파랑 원색 값을 갖는 화소는 상하좌우로 초록 원색 값을 갖는 4개의 화소(검은 점으로 표시)와 인접하고 있으며, 대각방향으로 빨강 원색 값을 갖는 4개의 화소(흰 점으로 표시)와 인접하고 있습니다. 이 경우 X로 표시된 파랑 원색 값만을 갖는 화소에서의 초록 원색 값은 상하좌우의 초록 원색 값의 평균을, 빨강 원색 값은 대각방향의 빨강 원색 값의 평균을 사용할 수 있습니다.

색정보가 $\frac{2}{3}$ 나 사라진 영상에서 위와 같은 방법으로 사라진 원색 값을 보간하는 것이 말이 안되는 것 같지는 않은데 그렇다고 결과가 썩 좋을 것 같지 않은 느낌을 강하게 받고 계시나요?

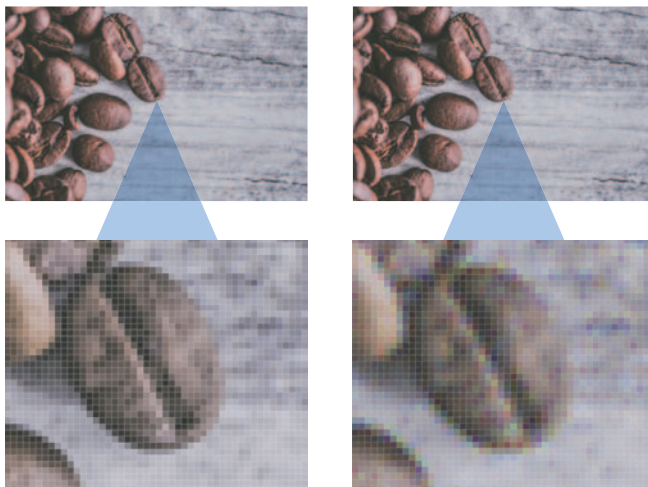


그림 9. 좌: 원본 영상

우: 2G-Bayer CFA를 이용한 영상 취득 및 보간 시뮬레이션

독자 여러분께서 C군이 공명심에 생색내기 하는 것으로 오해하실 것 같아 굳이 말씀드리려 하지 않았지만..... 독자 여러분의 궁금증을 100% 날려 드리기 위해 C군이 굉장히 많은(?) 시간을 들여 [그림 3]에서 [그림 5]로 이어지는 과정을 시뮬레이션하는 프로그램을 C 언어로 구현하여 그 결과를 [그림 9]와 같이 보여드립니다.

[그림 9]의 좌측 영상은 카메라 렌즈 앞의 영상이고, 우측 영상은 좌측 영상이 렌즈를 지나 2G-Bayer CFA를 통과해 이미지 센서에서 화소마다 하나의 원색 값만을 갖는 데이터로 바뀐 후, 화소마다 잃어버린 원색 값을 보간 하여 컬러 영상으로 재구성되는 과정을 시뮬레이션 한 결과입니다. 좌측과 우측의 영상이 큰 차이는 없어 보이지만 확대해보면 색이 급변하는 경계 주변으로 두 영상의 색이 조금씩 다른 것을 알 수 있습니다. 이는 ‘영상의 인접한 화소들은 상호 연관성이 높다’는 가정이 적용되지 않는 부분(색이 급변하는 경계)에서 이 가정을 바탕으로 한 보간 연산으로는 좋은 결과를 갖기 힘들기 때문입니다. 하지만 간단한 평균값에 의한 보간 만으로 확대해서 자세히 보지 않으면 차이를 못 느낄 정도로 비슷한 영상을 재구성할 수 있다는 것이 흥미롭게 느껴집니다. 실제로 시장에서 판매되는 카메라에는 이렇게 단순한 평균값을 이용한 방법이 아닌 각 회사 나름의 세련된 방식이 쓰이는 것으로 알고 있습니다.

세 장의 이미지 센서를 한 장의 이미지 센서로 대체하기 위해 센서 앞에 컬러 필터를 장착하고, 필터로 인해 잃어버린 원색은 보간을 통해 구하는 도전적 발상과 이 발상을 완성 시킨 기술..... 매우 흥미롭지 않은가요?

이상 카메라를 이용한 영상 데이터 취득에 대해서 간략히 설명해 보았습니다. 다음 연재에서는 영상 데이터가 어떻게 구성이 되어 있고, 어떻게 해독되어 디스플레이 기기에서 표시되는지에 관해 쉽고 간단하게 설명해 드리겠습니다. 