

레터논문-11-16-3-17

# 베이어 CFA 카메라를 사용한 다중 스펙트럼 기반 컬러영상 생성 기술

신정호<sup>a)‡</sup>

## Multi-spectral Imaging-based Color Image Reconstruction Using the Conventional Bayer CFA

Jeongho Shin<sup>a)‡</sup>

### 요약

본 논문에서는 기존의 베이어 컬러필터 배열 기반의 영상 센서를 사용하는 카메라에서 개선된 컬러 영상을 생성하기 위한 영상 시스템을 제안한다. 제안한 컬러 영상 생성 기술은 두 장의 연속적인 영상(광대역 G 채널 필터를 사용한 영상과 색필터를 적용하지 않고 연속적으로 촬영한 영상)으로부터 RGBCY의 다양한 색 정보를 추출하여 디모자이킹을 위한 컬러 영상 보간의 계산은 감소시키며 개선된 색상 정보를 가지는 영상을 얻을 수 있다. 또한 기존의 베이어 CFA 영상센서를 사용하기 때문에 새로운 형태의 CFA를 제작할 필요 없이 다중 스펙트럼 영상을 취득할 수 있는 카메라 시스템으로 확장 가능하다. 마지막으로 본 논문에서 제안한 컬러영상 생성을 위한 카메라 시스템의 성능을 검증하기 위해서 기존의 디모자이킹 기술과 비교하였으며, 그 결과 컬러 중첩 현상이 상당히 개선되었음을 보였다.

### Abstract

This paper presents an imaging system for reconstruction of enhanced color images using the conventional Bayer CFA. By extracting various colors such as RGBCY from two sequential images which consist of a image by broadband G channel lens filter and the other image captured without one, the proposed color image reconstruction system can reduce the computational complexity for demosaicking and make high resolution color information without aliasing artifacts. Because the proposed system uses the common Bayer CFA image sensor, fabricating a new type of CFA is not necessary for obtaining a multi-spectral image, which can be easily extensible for applications of multi-spectral imaging. Finally, in order to verify the performance of the proposed system, experimental results are performed. By comparing with the existing demosaicking methods, the proposed camera system showed the significant improvements in the sense of color resolution.

Keywords : demosaicking, Bayer CFA, multispectral imaging

## 1. 서론

디지털 카메라에서 컬러 영상을 취득하기 위해서는 원리

적으로 세 개의 영상센서가 필요하다. 그러나 각각의 서로 다른 스펙트럼 채널을 갖는 세 개의 영상센서를 사용하기 위해서는 렌즈로 입사되는 빛을 광학적으로 분리하여 각각의 센서로 전송하기 위한 광학부와 전자제어부가 추가적으로 필요하다. 이와 같이 추가적인 시스템은 카메라의 물리적인 크기와 비용을 증가시키는 단점을 가지고 있다.

따라서 일반적으로 디지털 카메라에서는 한 개의 영상센서만을 사용하여 컬러 정보를 취득하기 위하여 컬러필터배

a) 한경대학교 웹정보공학과

Dept. of Web Information Engineering, Hankyong National University

‡ 교신저자 : 신정호(shinj@hknu.ac.kr)

※ 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(D00434).

· 접수일(2011년2월23일), 수정일(2011년4월22일), 게재확정일(2011년4월22일)

열 (CFA: Color filter array)을 사용하여 영상을 샘플링한다. 현재 대부분의 디지털 카메라에서 컬러 정보를 얻기 위해서 베이어 컬러필터배열 (Bayer CFA)을 사용한다. 한 개의 영상센서와 CFA를 사용하는 카메라에서는 한 화소에서 단 한 가지의 색상 정보만을 추출하기 때문에 베이어 CFA는 각 화소마다 RGB 채널 중에서 한 가지 색상 정보만을 취득할 수 있고, 다른 두 채널의 색상 정보는 영상보간 등의 방법을 사용해서 추정해야 한다. 이러한 컬러 정보의 추정을 위한 과정을 컬러필터배열 보간 (color filter array interpolation) 또는 디모자이킹 (demosaicking)이라고 한다. 디모자이킹의 가장 단순한 예로 각각의 컬러 채널에 대하여 선형보간 또는 큐빅보간 등을 수행하여 컬러 영상을 생성할 수 있지만, 영상의 고주파 성분을 효과적으로 보간할 수 없으며 컬러 채널간 정보의 중첩으로 의도하지 않은 색상이 발생하는 문제점을 가진다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 적응적 보간 기술 및 정칙화(regularization) 방법 및 POCS (projections onto convex sets) 방법 등의 다양한 디모자이킹 기술이 연구되고 있다<sup>[1]</sup>.

한편 다수의 조리개에 RGB의 색필터가 추가된 광학부를 사용하여 취득한 영상에서 채널간의 이동된 컬러 정보를 이용하여 객체의 깊이를 추정하여 다중 객체의 초점을 복원하기 위한 다중 컬러필터 조리개 (multiple color-filter aperture) 카메라 시스템이 개발되었다<sup>[2]</sup>. 다중 컬러필터 조리개 카메라 시스템을 변형하여 컬러영상을 생성하는 방법에 제안되었다. 이 방법은 기존의 RGB 베이어 패턴을 적용한 카메라에 RGB의 색 필터를 렌즈에 추가로 장착하여 세장의 영상을 취득하여 베이어 영역 컬러 패치 방법을 사용하여 디모자이킹을 수행하지 않고 컬러 영상을 생성한다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 기존의 베이어 컬러필터 배열 기반의 영상 센서를 사용하는 카메라에서 개선된 컬러 영상을 생성하기 위한 방법을 제안한다. 이를 위하여 두 장의 연속적인 영상(광대역 G채널 필터를 사용한 영상과 색필터를 적용하지 않고 연속적으로 촬영한 영상)으로부터 색 정보를 추출하여 디모자이킹을 위한 컬러 영상 보간의 계산은 감소시키며 색상 정보를 개선하는 컬러 영상을 생성 기술을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 컬러영상 생성 기술의 특징은 다

음과 같다. 첫째, 상용화되어 일반적으로 사용되는 베이어 CFA 카메라 시스템의 컬러 스펙트럼을 분석하여 다중 스펙트럼을 이용한 컬러 영상 생성 시스템을 제안한다. 둘째, 제안한 다중 스펙트럼 컬러 영상 생성 기술로 디모자이킹을 위한 컬러 영상 보간의 계산량을 줄이고 생성된 영상의 컬러 중첩 효과를 제한한다. 셋째, 제안된 카메라 시스템은 다중 스펙트럼을 위한 영상 취득 시스템으로 확장 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존의 디모자이킹 기술을 사용하는 컬러영상 생성 기술에 대해 설명하고 베이어 CFA 기반의 다중 스펙트럼 영상을 사용하는 컬러 영상 생성 기술을 제안한다. 3절에서는 실험 결과를 제시하고, 마지막으로 4절에서 결론을 맺는다.

## II 베이어 CFA 기반의 다중 스펙트럼을 이용한 컬러 영상 생성 기술

### 1. 컬러필터배열 및 디모자이킹 기술

영상 센서는 일반적으로 빛 에너지에 반응하는 모노 센서로 구성된다. 이와 같은 모노 센서를 사용하여 컬러영상을 얻기 위해서 현재 대부분의 디지털 카메라는 영상센서 위에 CFA를 설치하여 각 화소마다 서로 다른 컬러 정보를 취득한다. 베이어 CFA를 통과한 빛이 영상센서에 저장되기 때문에 취득한 영상에는 RGB의 성분이 1:2:1로 샘플링되어 저장되고 각 화소는 한 가지 색성분에 대한 응답만을 가진다. 따라서 나머지 두 색 성분들과 함께 컬러영상을 생성하기 위해서 베이어 영상을 보간하여 영상센서 해상도와 같은 크기의 컬러 영상을 계산한다. 베이어 RGB CFA에서 G 성분을 다른 색성분 보다 두 배 샘플링하는 이유는 G 성분이 사람의 눈에 가장 민감하게 반응하고 영상의 휘도 (luminance) 성분과 유사하기 때문이다.

디모자이킹은 베이어 패턴에 의해 저장된 영상을 R, G, B 화소들로 샘플링하기 때문에 컬러영상을 생성하기 위해서는 각 채널별로 취득하지 못한 화소를 같은 채널의 주변 화소의 정보와 다른 채널의 화소 정보를 이용하여 추정한다.

다. 디모자이킹 방법과 영상의 공간주파수 분포 및 색상에 따라서 디모자이킹한 결과 영상의 색상, 고주파성분, 에일리어싱 (aliasing)의 문제가 발생할 수 있다.

### 2. 다중 스펙트럼 기반의 컬러 영상 생성

그림 1에서는 가시광선대역에서 색필터의 파장에 따르는 상대적인 응답을 나타내었다. 베이어 CFA의 경우 RGB의 각각의 색성분 대역에 대한 빛의 투과도는 그림 1의 다중 스펙트럼 그래프에서 각각 5, 3, 1의 곡선에 해당한다.

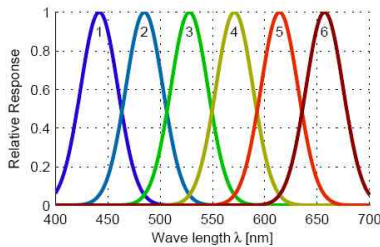


그림 1. 다중 스펙트럼의 가시 스펙트럼 응답  
Fig. 1 Visual spectral response

한 개의 영상센서를 사용하여 컬러영상을 생성하기 위한 방법으로 베이어 CFA와 유사한 형태로 다른 색필터를 배치한 다양한 CFA 패턴을 사용할 수 있다. 대표적인 예로 CYGM 패턴을 들 수 있는데 일반적으로 RGB 색 필터의 특성에 비하여 CMY 색 필터는 빛에 대한 투과율이 높기 때문에 잡음에 강인하지만 디스플레이를 위해서 RGB로 다시 변환하는 과정에서 색과 신호대잡음비 등의 손실이 발생하기도 한다<sup>4)</sup>.

컬러영상을 생성하기 위해서 베이어 CFA 영상센서를 사용하는 대신에 프리즘으로 색성분을 RGB로 분리하는 3CCD 카메라를 사용하여 고해상도 영상을 취득한다. 또한 천체 관측을 위하여 서로 다른 색필터가 포함된 필터휠 (filter wheel)을 렌즈에 부착하여 연속적으로 영상을 촬영하여 컬러영상 또는 다중 스펙트럼 영상을 생성하기도 한다<sup>5)</sup>. 따라서 여러 장의 다중 스펙트럼의 영상을 취득하기 때문에 디모자이킹을 사용하지 않고 고해상도의 영상을 얻을 수 있으나 연속적으로 세 장 이상의 영상을 취득하기 위한 과정이 필요하다.

한편 단일 영상센서를 사용하여 다중 스펙트럼 영상을 취득하기 위해서 기존의 CFA 대신에 RGBCM의 색필터를 배치한 CFA를 사용하여 다중 스펙트럼 디모자이킹을 수행하였다<sup>6)</sup>. 앞서 언급한 것과 같이 다중 스펙트럼 영상을 얻기 위해서 또는 다중 스펙트럼 영상을 사용하여 컬러영상을 생성하기 위해서는 새로운 형태의 CFA를 사용하거나 여러 장의 영상을 사용해야 하는 단점이 있다.

### 3. 광대역 G 필터를 사용한 컬러 영상 생성

본 절에서는 일반적으로 사용하는 베이어 RGB CFA 영상센서를 사용하고 디모자이킹을 최소화하여 채널 보간의 문제를 해결하기 위한 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 다중 스펙트럼 영상을 얻기 위한 방법으로 확장할 수 있는 장점을 가진다.

본 논문에서 제안하는 컬러영상 시스템은 렌즈부에 광대역 G 필터를 탈착이 가능하도록 구성하고 기존의 베이어 RGB CFA 영상센서를 사용하여 연속적으로 두 장의 영상을 촬영한다. 한 장의 영상은 외부 필터를 사용하지 않고 영상을 취득하고 다른 한 장의 영상은 광대역 G 필터를 부착하여 영상을 얻는다.

그림 2에서는 제안한 카메라 시스템에서의 영상센서 CFA 스펙트럼 응답과 렌즈에 부착하는 광대역 G 필터의 스펙트럼 응답의 예를 제시한다.

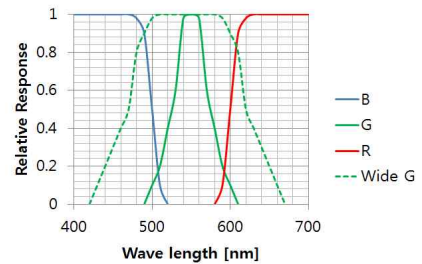


그림 2. 제안하는 컬러영상 시스템의 스펙트럼 응답  
Fig. 2. Spectral response of proposed system

그림 2에서 실선은 영상센서의 베이어 RGB CFA 스펙트럼 응답을 나타내고 점선은 외부 광대역 G필터의 스펙트럼 응답을 나타낸다. 광대역 G 필터의 응답에서 베이어 CFA

의 R 채널과 B 채널의 응답과 중복되는 부분이 발생하는데, 바로 이 중복되는 영역이 각각 Y(yellow)와 C(Cyan) 대역에 해당하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 광대역 G 필터를 사용하는 카메라 시스템으로 얻은 두 장의 영상에서 R, G, B, Y, C의 5개 대역의 성분을 그림 3에서와 같이 검출할 수 있다.

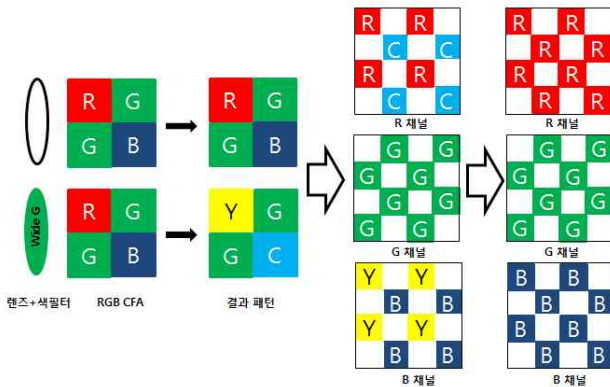


그림 3. 제안하는 컬러영상 시스템의 개요도  
Fig. 3. Diagram of the proposed system

특히 빛이 광대역 G 필터를 통과할 때 그림 2과 같이 R과 B의 색성분도 일부 포함되어 센서 CFA로 전달되기 때문에 CFA의 R 화소를 통과한 빛은 Y 대역의 색 성분을 가지고, 같은 원리로 CFA의 B 화소를 통과한 빛은 C 대역의 색 성분을 나타낸다. 물론 G 화소를 통과한 빛은 같은 G 색 성분을 나타낸다.

앞서 언급한 RGB와 CMY의 색 필터를 통과한 빛에 대한 색상 관계를 다음 식과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Y &= R + G = W - B \\
 M &= R + B = W - G, \\
 C &= G + B = W - R
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기에서 W는 모든 대역의 색상을 포함한 흰색 광원을 의미한다.

이와 같이 연속적으로 얻은 두 장의 영상으로부터 컬러 영상을 생성하기 위해 다음과 같이 RGB 채널 영상을 구성한다. R 채널을 구성하기 위해서 렌즈 색필터를 사용하지

않은 영상에서 1/4로 샘플링된 R 화소를 사용하고 광대역 G 필터를 사용해서 얻은 영상의 1/4 샘플링된 C 화소를 사용한다. 식 (1)의 세 번째 식에서 C와 R의 관계를 통해 C 화소로부터 R 성분을 간단히 계산할 수 있다. R 채널 영상에서 나머지 절반의 화소들은 정보를 얻을 수 없기 때문에 단순한 영상보간 또는 기존의 디모자이킹을 사용하여 보간할 수 있다. 결과적으로 빈 화소는 인접한 네 개의 화소를 사용하여 계산할 수 있다. 이와 같은 방법으로 B 채널의 영상의 Y 화소 값은 식 (1)의 첫 번째 식으로부터 Y와 B의 관계를 통해 계산하여 나머지 절반의 빈 화소들을 보간하여 구할 수 있으며, G 채널의 경우는 취득한 두 장의 영상을 평균하여 구성하며 빈 화소는 위에서 언급한 바와 같이 보간할 수 있다. 따라서 인간의 시각 체계에 가장 민감하고 휘도 영상에 가까운 채널에서 잡음을 효과적으로 감소시키는 결과를 얻을 수 있다. 이와 같은 과정을 통하여 마지막으로 영상 센서의 크기와 같은 RGB 세 장의 영상을 추정하여 컬러 영상을 표현할 수 있다.

### III 실험 결과

본 논문에서 제안한 컬러 영상 생성 기술의 성능을 검증하기 위해서 제안한 방법으로 생성한 영상과 기존의 베이어 RGB CFA 영상의 디모자이킹 기술로 생성한 영상을 비교하였다. 제안한 방법과의 객관적인 실험결과의 비교를 위하여 코닥 영상을 사용하여 PSNR을 표 1에 나타냈다.

표 1. 코닥 영상에 대한 PSNR 비교 (순서대로 RGB 채널별 PSNR)  
Table 1. PSNRs for Kodak images

| 영상 | 선형보간 방법 |      |      | Gunturk 방법[8] |      |      | 제안한 방법 |      |      |
|----|---------|------|------|---------------|------|------|--------|------|------|
| 1  | 35.4    | 38.2 | 35.0 | 43.9          | 45.0 | 41.2 | 39.5   | 39.2 | 39.1 |
| 2  | 27.8    | 30.9 | 28.1 | 39.3          | 42.6 | 38.5 | 32.0   | 31.9 | 31.9 |
| 3  | 33.6    | 36.2 | 33.3 | 43.6          | 44.6 | 40.5 | 38.3   | 38.0 | 37.9 |
| 4  | 23.4    | 27.4 | 23.7 | 35.9          | 39.3 | 35.4 | 29.6   | 29.6 | 29.5 |
| 5  | 32.4    | 35.8 | 32.8 | 43.5          | 45.5 | 41.5 | 37.6   | 37.7 | 37.5 |
| 6  | 29.2    | 32.4 | 29.3 | 39.9          | 42.2 | 39.5 | 33.3   | 33.2 | 33.1 |
| 7  | 31.3    | 34.3 | 31.3 | 42.5          | 45.8 | 41.4 | 35.4   | 35.4 | 35.4 |
| 8  | 28.1    | 31.7 | 28.2 | 40.6          | 43.8 | 39.6 | 34.4   | 34.4 | 34.2 |
| 9  | 31.8    | 34.6 | 31.6 | 42.5          | 44.7 | 40.0 | 36.2   | 35.8 | 35.7 |
| 10 | 28.7    | 31.4 | 28.6 | 40.0          | 42.9 | 38.9 | 32.5   | 32.3 | 32.3 |
| 11 | 30.9    | 33.8 | 30.3 | 39.7          | 41.3 | 37.7 | 34.6   | 34.3 | 34.1 |
| 12 | 27.1    | 29.6 | 26.3 | 36.9          | 39.0 | 34.7 | 30.2   | 29.7 | 29.1 |

그림 4에서는 주관적 비교를 위하여 영상8에 대한 결과 영상의 일부를 제시하였다. 그림 4(d)와 같이 제안한 방법은 기존의 방법에 비교하여 고주파 성분에서 색 중첩의 문제를 효과적으로 해결할 수 있었다.

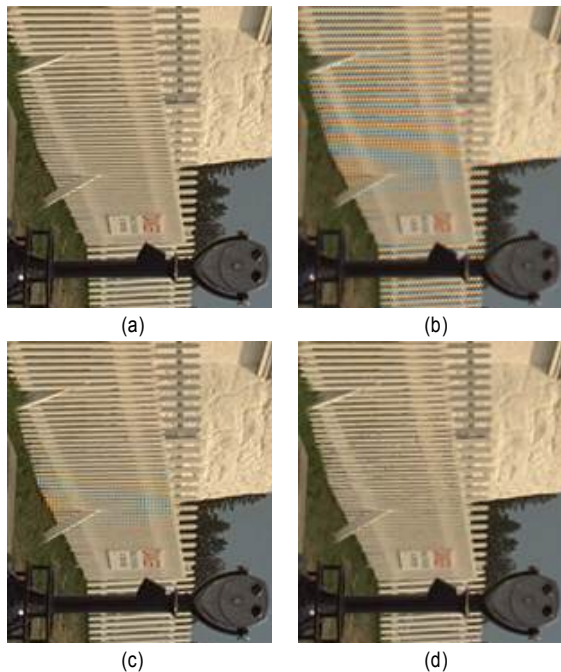


그림 4. 실험결과 (a: 원영상, b: 선형보간, c: Gunturk의 방법[8], d: 제안 방법)  
 Fig. 4 Experimental results (a: original image, b: bilinear, c: Gunturk's method[8], d: proposed method)

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 성능 평가를 위해서는 실제 상용 카메라의 CFA 스펙트럼 대역에 대한 구체적인 정보를 알아야하고 또한 그에 해당하는 외부 광대역 G 필터를 제작해야 한다. 따라서 본 실험에서는 기존의 디모자이킹 방법과의 비교 및 제안하는 광대역 G 필터를 사용하는 영상시스템의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션으로 광대역 G 필터가 통과한 영상을 생성하여 사용했다. 본 논문에서 제안한 방법의 PSNR을 기존의 방법과 비교하면 선형보간 방법보다는 개선되었지만 Gunturk의 방법을 사용한 결과에 비교하면 낮은 수치를 나타낸다. 그 이유는 RGB의 각 채널별 보간 방법으로 기존의 에지 방향성 보간(edge-directed interpolation) 방법<sup>[7]</sup>을 적용하였기 때문에 채널간 정보를 사용하고 반복적으로 계산한 Gunturk의

방법에 비하여 PSNR 값이 낮게 나타난다. 따라서 제안한 방법의 보간을 위해 채널간 정보를 사용한다면 PSNR을 개선할 수 있을 것으로 예상된다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 CFA 영상센서를 사용하는 카메라의 렌즈에 광대역 G 필터로 얻은 영상을 추가로 사용하여 컬러 영상을 생성하는 시스템을 제안했다. 제안한 컬러 영상 생성 기술은 R과 B 채널을 구성할 때 기존의 단일센서 CFA 영상 보다 두 배의 정보를 얻을 수 있어서 단순한 디모자이킹 방법을 사용할 수 있기 때문에 적은 계산량으로 효과적으로 디모자이킹을 수행하고 색 중첩의 문제도 해결할 수 있다. 또한 기존의 베이어 CFA 영상센서를 사용하기 때문에 새로운 형태의 CFA를 제작할 필요 없이 다중 스펙트럼 영상을 얻을 수 있는 근거를 마련하였다. 향후 연구에서는 렌즈 색필터와 CFA를 통과한 빛의 손실을 고려하고 두 장 영상의 노출을 다르게 설정하여 HDR (high dynamic range) 등의 기술에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] B. K. Gunturk, J. Glotzbach, Y. Altunbasak, R. W. Schafer, and R. M. Mersereau, "Demosaicking: Color filter array interpolation," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 20, no. 3, pp. 21-36, May 2003.
- [2] V. Maik, D. Cho, J. Shin, D. Har, and J. Paik, "Color-shift model-based segmentation and fusion for digital auto focusing," *Journal of Imaging Science, Technology*, vol. 51, no. 4, pp. 368-379, July/August 2007.
- [3] 강원석, 이은성, 김상진, 백준기, "다중 컬러 필터 조리개 시스템을 위한 베이어 도메인 컬러 패치", *신호처리합동학술대회 논문집*, 23권, 1호, pp. 285-287, 2010년 10월.
- [4] J. Nakamura, *Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras*, Taylor&Francis, 2006.
- [5] J. Brauers, N. Schulte, and T. Aach, "Multispectral filter-wheel cameras: geometric distortion model and compensation algorithms," *IEEE Tr. Image Processing*, vol. 17, no. 12, pp. 2368-2380, December 2008.
- [6] L. Miao, H. Qi, R. Ramanath, and W. Snyder, "Binary tree-based generic demosaicking algorithm for multispectral filter arrays," *IEEE Tr. Image Processing*, vol. 15, no. 15, pp. 3550-3558, November 2006.
- [7] R. Hibbard, "Apparatus and method for adaptively interpolating a full color image utilizing luminance gradients," U.S. Patent 5 382 976, 1995.
- [8] B. Gunturk, Y. Altunbasak, and R. Mersereau, "Color plane interpolation using alternating projections," *IEEE Tr. Image Processing*, vol. 11, no. 9, pp. 997-1013, September 2002.