

## 채널 간 상관관계를 이용한 무손실 컬러 이미지 압축

김 세 윤<sup>a)</sup>, 조 남 익<sup>a)†</sup>

### Lossless Color Image Compression using Inter-channel Correlation

Seyun Kim<sup>a)</sup> and Nam Ik Cho<sup>a)†</sup>

#### 요 약

기존의 무손실 압축은 일반적으로 채널간의 상관관계를 고려하지 않고 각각의 채널을 따로 압축하였다. 채널 간 상관관계를 이용하는 경우도 있으나 이들은 위성/항공 영상과 같은 경우에 제한된 것으로서 일반적인 이미지에 대해서는 만족할만한 성능을 얻지 못하였다. 본 논문에서는 컬러 이미지가 갖는 채널 간의 상관관계를 이용하여 무손실 압축의 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 채널 간 상관관계를 표현할 수 있도록 하기 위하여, 비대칭 샘플링을 통해 주어진 영상의 모자이크 이미지를 구성하여 압축을 수행하였고, 압축된 모자이크 이미지의 정보를 이용해서 샘플링되지 않은 나머지 이미지를 예측하여 압축할 정보의 양을 감소시켰다. 제안된 방법은 압축 성능을 평가하는데 일반적으로 사용되는 데이터들에 대해서 채널 간 상관관계를 이용하지 않는 방법에 대해 35%, 채널 간 상관관계를 이용한 기존 방법에 대해 10%의 성능 개선을 보인다.

#### Abstract

The conventional lossless compression of color images is to apply a compression method to each of color components separately, without considering the channel correlation. There had been several methods that consider the channel correlation, but they were confined to the compression of satellite or aerial images only, and the performance of these algorithms to general photos is not satisfactory. This paper proposes a new lossless color image compression method that exploits the correlation between the color components. Specifically, asymmetric sampling is applied to transform an image into mosaic image and the rest, which are compressed separately. By using the information from the compressed mosaic image, the rest images are predicted for further reducing the information to be compressed. Experimental results show that the proposed method improves the compression performance by 35% over the conventional separate compression methods and 10% over the existing methods that exploit the channel correlation.

Keyword : lossless image compression, inter-channel correlation, color image coding

## 1. 서 론

영상 압축은 영상에서 중복되는 정보를 제거하여 데이터의 양을 줄이는 과정이다. 무손실 압축은 영상 취득 장치로부터 얻은 영상을 손실 없이 압축하는 것으로서, 의료 영상이나 천문 영상과 같이 높은 정밀도가 요구되는 분야에서

a) 서울대학교 전기컴퓨터공학부

Dept. of Electrical and Computer Engineering, Seoul National Univ.

† 교신저자 : 조남익 (nichol@snu.ac.kr)

※ 이 논문은 지식경제부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 연구개발사업(인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발사업)의 일환으로 수행되었습니다.

· 접수일(2011년9월6일), 수정일(11월3일), 게재확정일(2011년11월7일)

사용되고 있으나 압축 효율이 낮아 많은 저장 공간이 필요한 단점이 있다. 이 때문에 일반적인 디지털 카메라에서는 정보의 손실을 감수하면서 높은 압축 효율을 얻는 손실 압축 방법이 이용되어 왔다. 하지만 최근에는 저장 장치의 발전으로 디지털 카메라에 사용되는 저장 공간이 커지면서 고품질 영상을 원하는 사용자의 무손실 압축 이용이 증가하고 있다.

기존의 무손실 압축 방법으로는 JPEG-LS나 CALIC<sup>[1]</sup> 등이 있는데, RGB 각각의 채널을 흑백이미지와 같이 따로 압축을 하거나, 무손실 YUV 변환을 이용하여 채널 간 연관성을 줄인 후 처리한다. YUV 변환은 RGB 색공간으로 표현된 영상을 밝기 성분과 색상 성분으로 분리하는데, 영상의 내용에 관계없이 고정된 계수를 이용하여 변환을 하기 때문에 YUV 각 채널 간에 상관관계가 남아있다. 따라서 이를 제거함으로써 압축 효율을 높이는 연구가 필요하다.

이를 위해 Magli<sup>[2]</sup>는 multiband spectral predictor를 이용하여 채널 간 상관관계를 제거하는 방법을 제안하였다. 채널 간 상관관계를 이용하지 않고 압축된 채널을 이용하여 새로운 채널의 값을 예측하고 그 차이를 압축하는 방법이다. 하지만, 이 방법은 위성/항공 영상과 같이 임의의 수의 채널을 가지는 이미지를 압축할 수 있는 반면에 일반 디지털 카메라로 취득한 R, G, B 세 채널의 데이터에 대해서는 성능 향상이 크지 않다는 단점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 압축할 영상을 그림 1(a)와 같은 비대칭 샘플링을 이용하여, color filter

array (CFA)와 같은 형태의 모자이크 이미지를 만들고<sup>[3]</sup> 여기에 포함되지 않는 픽셀들을 모은 별도의 영상들로 변환하여 압축하는 방법을 제안한다. 모자이크 이미지는 CFA 압축 알고리즘<sup>[4]</sup>을 이용하여 압축하는데, 이 알고리즘은 각 색상 채널 사이의 상관관계를 고려하여 압축을 효율적으로 수행한다. 모자이크 이미지를 구성하고 남은 이미지는 모자이크 이미지로부터 높은 정확도로 예측이 가능하므로 큰 압축 효율을 얻을 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 방법<sup>[4]</sup>을 이용하여 모자이크 이미지를 압축하는 방법을 설명한다. 3장에서 제안하는 알고리즘을 설명하고, 4장에서 실험결과를 보인다.

## II. 모자이크 영상의 압축

채널 사이의 상관관계를 이용한 압축을 수행하기 위해서 그림 1(a)의 패턴으로 비대칭 샘플링을 수행한다. 적색, 녹색, 청색 채널을 R, G, B로 나타낼 때, 이렇게 얻은 모자이크 이미지  $X$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다 ( $n, m$ 은 임의의 정수).

$$X(y,x) = \begin{cases} R(y,x), & \text{if } y=2n \text{ and } x=2m+1 \\ B(y,x), & \text{if } y=2n+1 \text{ and } x=2m \\ G(y,x), & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

모자이크 이미지  $X$ 는 대부분의 디지털 카메라에서 사용하는 그림 1(a)와 같은 형식이므로 기존에 제안된 비손실 CFA 압축 방법<sup>[4]</sup>을 이용하여 압축을 수행한다. 이 방법은 모자이크 이미지를 녹색 채널과 적색, 청색의 나머지 색상 채널로 분리하여 녹색 채널을 먼저 압축하고, 이를 이용하여 나머지 적색, 청색 채널을 압축하는 방법으로 채널 사이의 상관관계를 이용한다.

래스터 주사 순서로 압축되는 녹색 채널은 이미 압축된 픽셀의 값을 이용하여 예측을 수행하고, 그 오차만이 부호화되어 전송된다. 예를 들어 그림 2에서 압축할 픽셀  $g$ 의 예측값  $\hat{g}$ 은 다음 식과 같이 후보 픽셀  $C_1 \sim C_4$ 의 가중 평균으로 계산된다.

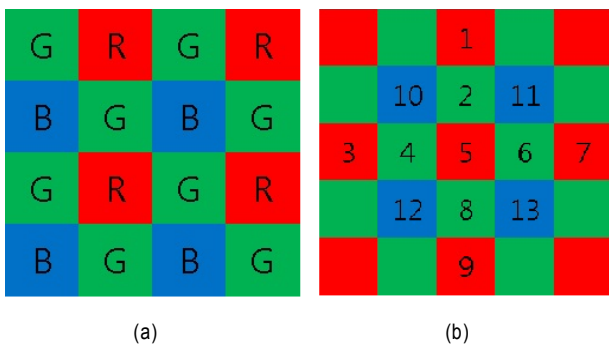


그림 1. (a) Bayer CFA pattern<sup>[3]</sup>, (b) Adams<sup>[5]</sup>의 경계 방향을 이용한 보간법  
Fig. 1. (a) Bayer CFA pattern<sup>[3]</sup>, (b) The directional interpolation by Adams<sup>[5]</sup>

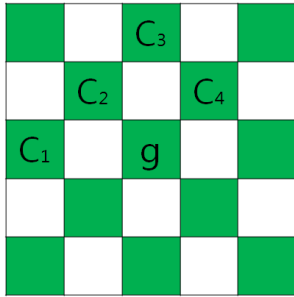


그림 2. 비손실 CFA 압축 방법<sup>[4]</sup>의 녹색 영상의 압축  
 Fig. 2. The green channel compression of lossless CFA compression method<sup>[4]</sup>

$$\hat{g} = \sum_{k=1}^4 w_k C_k \quad (2)$$

즉 후보 픽셀은 이미 압축된 주변 픽셀이며, 후보 픽셀  $C_i$ 에 대한 가중치  $w_i$ 는 픽셀  $g$ 의 주변 영역  $S_g$ 와 픽셀  $C_i$ 의 주변 영역  $S_{C_i}$  사이의 차이에 의해서 결정된다. 픽셀  $g$ 의 주변 영역  $S_g$ 도 그림 2와 같은 배치로 구성되며, 주변 영역  $S_g$ 와  $S_{C_i}$ 의 차이  $D(S_g, S_{C_i})$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$D(S_{g(i,j)}, S_{g(m,n)}) = |g(i,j-2) - g(m,n-2)| + |g(i-1,j-1) - g(m-1,n-1)| + |g(i-2,j) - g(m-2,n)| + |g(i-1,j+1) - g(m-1,n+1)| \quad (3)$$

나머지 적색 채널의 압축은 채널 사이의 상관관계를 제거하기 위해서 적색 채널 자체가 아니라 적색 채널과 녹색 채널의 차이를 압축한다. 녹색 채널은 이미 압축이 되어있으므로 그 차이만을 전송하여 적색 채널을 완전히 복원할 수 있다. 청색 채널도 같은 방법으로 압축을 수행한다.

### III. 제안하는 방법

그림 3은 제안 방법의 순서도이다. 먼저 입력 영상을 그림 1(a)의 패턴으로 비대칭 샘플링 하여 모자이크 이미지와 나머지 채널 이미지로 나눈다. 모자이크 이미지는 2장에서 설명한 것과 같이 CFA 압축 방법<sup>[4]</sup>으로 압축하고, 이를 이용하여 녹색 채널의 나머지 픽셀을 예측하고 압축한다. 적색과 청색 채널은 모자이크 이미지와 녹색 채널을 이용하여 예측하고 압축한다. 예측한 값의 오차는 적응 산술 부호 화기를 이용하여 부호화된다.

#### 1. 녹색 채널의 예측

녹색 픽셀  $G(y,x)$ 에서  $y$ 좌표와  $x$ 좌표의 합이 짝수인 위치의 픽셀은 비대칭 샘플링에 의해 모자이크 이미지  $X$ 에 포함되어 이미 압축되었으므로,  $y$ 좌표와  $x$ 좌표의 합이

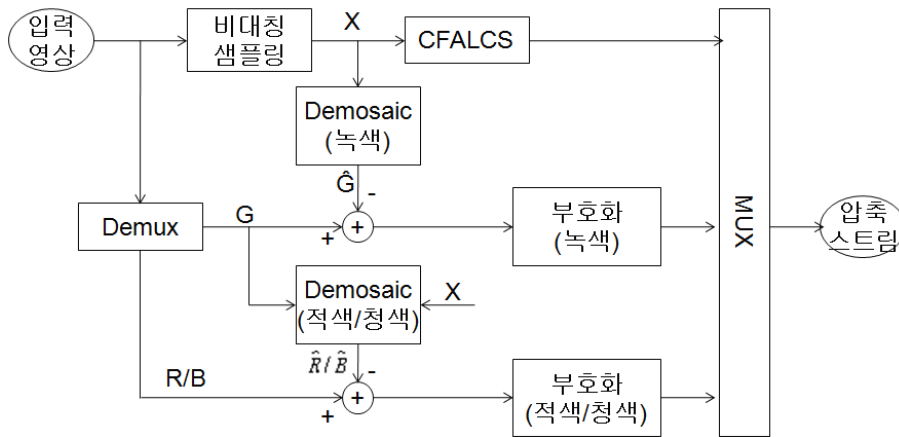


그림 3. 제안하는 방법의 순서도  
 Fig. 3. Flow of the proposed scheme

홀수인 위치에 해당하는 픽셀  $G_{res}(y,x)$ 만을 압축하면 된다. 이를 위해 간단한 디모자이킹 방법<sup>[5]</sup>으로  $G_{res}$ 의 추정값  $\hat{G}$ 을 계산하고, 그 오차  $G_{err}$ 만을 압축한다. 디모자이킹 방법<sup>[5]</sup>에서는 녹색 채널  $G$ 의 값을 추정하기 위해 주변 픽셀들을 이용하여 가로와 세로 방향의 변화를 각각 측정하고 변화가 작은 방향으로 보간을 수행한다. 예를 들어 그림 1(b)의 5에 해당하는 위치의 녹색값을 추정하기 위해 다음 식과 같이 가로와 세로 방향의 변화율  $\Delta H, \Delta V$ 를 계산한다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= |G_4 - G_6| + |2R_5 - R_3 - R_7|, \\ \Delta V &= |G_2 - G_8| + |2R_5 - R_1 - R_9|. \end{aligned} \quad (4)$$

각 방향의 변화율은 녹색채널의 변화율과 적색(청색) 채널의 변화율의 합으로 구성된다. 이를 이용하여 다음과 같이  $\Delta H, \Delta V$ 의 값을 비교하여 예측값  $\hat{G}_5$ 를 계산한다.

$$\begin{aligned} G_H &= (G_4 - G_6)/2 + (2R_5 - R_3 - R_7)/4, \\ G_V &= (G_2 - G_8)/2 + (2R_5 - R_1 - R_9)/4, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\hat{G}_5 = \begin{cases} G_H & \text{if } \Delta H < \Delta V \\ G_V & \text{if } \Delta H > \Delta V \\ (G_H + G_V)/2, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (6)$$

가로 방향의 변화율이 상대적으로 작을 때는 가로 방향의 보간  $G_H$ 를 선택하고, 세로 방향의 변화율이 상대적으로 작을 때는 세로 방향의 보간  $G_V$ 를 선택하며, 양 방향의 변화율이 같을 때는  $G_H$ 와  $G_V$ 의 평균을 선택한다.

하지만  $G_5$  주변이 복잡할 때는 추정의 정확도가 감소하여 예측 성능이 떨어져 오차  $G_{err}$ 의 값이 커져 압축 성능이 저하되는 경우가 발생한다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 양 방향 보간값  $G_H, G_V$  사이의 차이가 문턱값  $T_1$ 보다 커서  $|G_H - G_V| > T_1$ 의 조건을 만족할 때는 세 가지 예측자  $G_H, G_V, (G_H + G_V)/2$  중  $G_5$ 의 값과 가장 가까운 것을 예측값  $\hat{G}_5$ 로 선택하고 그 오차를 압축하여 전송한다. 그러나 복호화 과정에서는  $G_5$ 의 값을 알 수 없으므로 부호화 과정에서 선택된 예측자의 번호  $\text{mode}_5 \in \{0,1,2\}$

를 추가로 전송하여 복호화가 가능하도록 한다.

## 2. 청색/적색 채널의 예측

녹색 채널과 같은 원리로 모자이크 이미지  $X$ 를 이용해서  $\hat{R}$ 과  $\hat{B}$ 를 생성하고, 그 오차  $R_{err}, B_{err}$ 를 압축한다. 청색 채널은 모자이크 이미지에서 1/4의 픽셀이 압축되었고, 압축해야 할 나머지 픽셀은 위치에 따라 그림 4와 같이 두 경우로 나눌 수 있다. 배치1은 그림 4(a)의 픽셀 2처럼 모자이크 이미지 압축에 의해서 이미 압축된 픽셀이 상하나 좌우에 존재하는 경우이고, 배치2는 그림 4(b)의 픽셀 5처럼 이미 압축된 4개의 픽셀(파란색)이 대각선 위치에 있고 상하좌우로 배치1에 해당하는 픽셀(파란색 빗금)로 둘러싸인 경우이다.

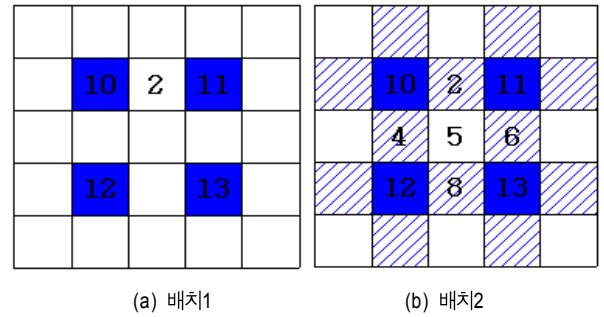


그림 4. 청색/적색 채널의 예측  
Fig. 4. The prediction of blue/red channel

배치1에 해당하는 픽셀은 녹색 채널 픽셀값을 이용하여 두 가지 방법으로 예측하게 된다. 예를 들어, 그림 1(b)의 2에 해당하는 위치에서 청색 픽셀의 예측은  $G_{10}, G_2, G_{11}$ 의 값이 불록하거나 오목한 모양인 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 다음과 같이 추정한다.

$$\begin{aligned} \text{If } G_2 > \max(G_{10}, G_{11}) \text{ or } G_2 < \min(G_{10}, G_{11}) \\ \hat{B}_2 &= G_2 - (G_{10} + G_{11})/2 + (B_{10} + B_{11})/2 \\ \text{else} \\ a &= G_2 - G_{10} \\ b &= G_{11} - G_2 \\ \hat{B}_2 &= B_1 + \frac{a}{(a+b)}(B_{11} - B_{10}). \end{aligned} \quad (7)$$

녹색 픽셀의 배치가 블록하거나 오목할 경우에는 녹색과 청색 채널 사이의 차이가 일정하도록 청색 채널의 예측값을 계산하고, 그렇지 않은 경우에는 예측할 픽셀의 좌우 픽셀과의 기울기의 비율이 같다는 가정을 이용하여 계산한다. 각 색상 채널 사이의 차이가 좁은 영역에서 일정하거나 공간적으로 느리게 변하는 신호라는 가정은 [6]이나 [7]과 같은 기존의 디모자이킹 연구에서 일반적으로 사용되는 가정이다<sup>[8]</sup>.

위의 과정을 거쳐 배치2에 해당하는 픽셀을 압축할 때는 모든 주변 픽셀의 값이 압축이 된 상태이다. 즉, 그림 1(b)의 5에 해당하는 청색 픽셀을 압축할 때는 모든 녹색 픽셀과 주변의 청색 픽셀이 압축이 된 상태이다. 이 값을 이용하여 다음과 같은 식으로 위치 5에 해당하는 청색 픽셀  $\hat{B}_5$ 을 예측한다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= G_5 - (G_4 + G_6)/2, \\ \Delta V &= G_5 - (G_2 + G_8)/2, \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} B_H &= \Delta H + (B_4 + B_6)/2, \\ B_V &= \Delta V + (B_2 + B_8)/2, \end{aligned} \tag{9}$$

$$\hat{B}_5 = \begin{cases} B_H & \text{if } |\Delta V/\Delta H| > T_2 \\ B_V & \text{if } |\Delta H/\Delta V| > T_2 \\ (B_H + B_V)/2, & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{10}$$

이러한 과정을 거쳐 모든 청색 픽셀을 차례로 예측하고 그 오차를 압축하게 되며, 적색 채널도 같은 방법으로 압축한다.

### 3. 예측 오차의 부호화

입력  $R, G, B$ 와 모자이크 이미지  $X$ 로부터 계산한 추정값  $\hat{R}, \hat{G}, \hat{B}$  사이의 오차  $R_{err}, G_{err}, B_{err}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{err}(y, x) &= R(y, x) - \hat{R}(y, x), \text{ for } y = 2m, x = 2n + 1, \\ G_{err}(y, x) &= G(y, x) - \hat{G}(y, x), \text{ for } y + x = 2m, \\ B_{err}(y, x) &= B(y, x) - \hat{B}(y, x), \text{ for } y = 2m + 1, x = 2n. \end{aligned} \tag{11}$$

$R_{err}, G_{err}, B_{err}$ 가 정의되지 않은 위치의 픽셀은 모자이크 이미지  $X$ 의 압축 과정에서 이미 압축이 되었다.  $R_{err}, G_{err}, B_{err}$ 의 부호화는 adaptive binary arithmetic coder를 이용한다. 이 방법에서 부호와 크기를 따로 부호화하며, 크기는 비트플레인 단위로 산술 부호화를 수행한다. 이때 부호화할 비트의 비트플레인 위치와 해당 계수의 significance의 조합으로 context를 구성한다. 각각의 픽셀의 significance는 '0'으로 초기화되고, 부호화 과정에서 '1'인 비트가 나타나면 해당 픽셀의 significance는 '1'로 바뀐다. 예측 오차의 절대값인 크기의 최대값은 '255'이므로 context의 수는  $8 \times 2 = 16$  개가 된다. Context 별로 학습된 bit 발생 확률은 채널이 바뀌면 초기화된다.

## IV. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 방법을 평가하기 위해 무손실 영상 압축의 state-of-the-art 알고리즘인 CALIC<sup>[1]</sup>, 채널 간 상관관계를 이용하는 M-CALIC<sup>[2]</sup>과 성능 비교를 수행하였다. 무손실 압축의 경우 압축 전후의 영상 사이에 차이가 없으므로 성능 비교는 그 압축된 비트스트림의 길이를 비교하였다. CALIC의 경우 R, G, B 세 채널을 각각 압축한 경우와 채널 간 상관관계를 줄이기 위해 다음의 식과 같은 Reversible Color Transform (RCT)을 이용하여 Y, Cb, Cr 색공간으로 변환하여 압축한 결과를 함께 비교하였다.

$$\begin{aligned} Y &= \left\lfloor \frac{R + 2G + B}{4} \right\rfloor, \\ C_b &= B - G, \\ C_r &= R - G. \end{aligned} \tag{12}$$

실험은 24장의 Kodak 이미지<sup>[8]</sup>와 Lena, Mandrill, Barbara, Peppers 이미지에 대해 압축된 코드의 Bit Per Pixel (BPP)을 측정하였다. 제안하는 알고리즘은 CALIC에 대해 35%, RCT+CALIC에 대해 15%, 기존의 채널 간 상관관계를 이용한 알고리즘 M-CALIC에 대해 10%의 성능 개선을 보인다.

표 1. PSNR 성능 비교  
Table 1. PSNR performance

	CALIC(RGB)	CALIC(RCT)	M-CALIC	Proposed
kodak 1	18.02	11.98	11.28	10.35
kodak 2	13.77	10.60	10.29	9.19
kodak 3	12.59	9.18	8.83	7.44
kodak 4	14.23	10.79	10.21	9.07
kodak 5	17.70	13.03	12.07	11.19
kodak 6	16.99	11.86	10.50	9.16
kodak 7	13.55	10.38	9.61	7.91
kodak 8	17.99	12.78	12.42	10.90
kodak 9	13.09	9.87	9.73	8.42
kodak 10	13.50	10.21	9.77	8.43
kodak 11	15.77	11.32	10.49	9.13
kodak 12	13.86	10.07	9.26	8.09
kodak 13	19.69	13.79	13.07	11.31
kodak 14	16.96	11.96	11.42	9.85
kodak 15	12.93	9.95	9.80	8.70
kodak 16	15.38	10.55	9.64	8.31
kodak 17	13.96	10.13	9.87	8.41
kodak 18	16.77	12.88	12.35	10.30
kodak 19	15.18	11.09	10.79	9.22
kodak 20	11.76	10.17	7.62	6.90
kodak 21	16.44	11.78	10.90	10.26
kodak 22	15.30	12.11	11.42	10.46
kodak 23	12.03	9.60	9.47	8.54
kodak 24	15.77	11.84	11.09	10.45
lena	13.18	13.05	13.26	13.02
mandrill	18.16	17.09	17.80	17.54
barbara	14.96	12.94	12.15	10.36
peppers	13.87	13.18	13.96	14.30
평균	15.12	11.58	11.04	9.90

## V. 결론

본 논문에서는 컬러 이미지가 갖는 채널 간의 상관관계를 이용하여 무손실 압축을 수행하는 방법을 제안하였다. 채널 간 상관관계를 표현할 수 있는 모자이크 이미지와 나머지 이미지로 나누어 압축을 수행하였고, 압축된 모자이크 이미지를 이용해서 나머지 이미지를 효율적으로 예측하여 압축할 정보의 양을 감소시켰다. 제안된 방법은 압축 성능을 평가하는데 일반적으로 사용되는 데이터들에 대해서 기존의 채널 간 상관관계를 이용한 알고리즘에 대해 10%의 성능 개선을 보인다. 향후에는 본 연구의 샘플링 방법을

개선하여 성능을 향상시키고 4개 이상의 채널을 갖는 멀티 채널 영상에 대해 확장할 수 있는 방법을 연구할 계획이다.

## 참고 문헌

- [1] X. Wu and N. Memon, "Context-based, adaptive, lossless image coding," IEEE Trans. Commun., vol. 45, pp.437 - 444, 1997.
- [2] Enrico Magli, Gabriella Olmo, Emanuele Quacchio, "Optimized on-board lossless and near-lossless compression of hyperspectral data using CALIC," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol.1, No.1, pp.21-25, Jan. 2004.
- [3] Bayer, Bryce E. "Color imaging array" U.S. Patent 3,971,065, Jul. 1976.
- [4] King-Hong Chung and Yuk-Hee Chan, "A Lossless Compression

- Scheme for Bayer Color Filter Array Images," IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 17, NO. 2, FEBRUARY 2008.
- [5] J. E. Adams and J. F. Hamilton, "Design of practical color filter array interpolation algorithms for digital cameras," in Proc. SPIE, vol. 3028, pp. 117-125, 1997.
- [6] B. K. Gunturk, Y. Altunbasak, and R. M. Mersereau, "Color plane interpolation using alternating projections," IEEE Transactions Image Processing, vol. 11, no. 9, pp. 997-1013, September 2002.
- [7] N Lian, L Chang, Y Tan, V Zagorodnov, "Adaptive filtering for color filter array demosaicking," IEEE Transactions on Image Processing, VOL. 16, NO. 10, pp. 2515-2525, OCT 2007.
- [8] B. K. Gunturk, J. W. Glotzbach, Y. Altunbasak, R. W. Schafer, and R. M. Mersereau, "Demosaicking: Color filter array interpolation," IEEE Signal Process. Mag., vol. 22, no. 1, pp. 44-54, Jan. 2005.
- [9] <http://www.site.uottawa.ca/~edubois/demosaicking>, images from KODAK Photo CD Photo Sampler, 1991.

---

저 자 소 개

---



김 세 운

- 2002년 : 서울대학교 전기공학부 학사
- 2007년 ~ 현재 : 서울대학교 전기공학부 박사과정
- 주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전



조 남 익

- 1986년 : 서울대학교 제어계측공학과 학사
- 1988년 : 서울대학교 제어계측공학과 석사
- 1992년 : 서울대학교 제어계측공학과 박사
- 1991년 ~ 1994년 : 제어계측신기술연구센터 연구원
- 1994년 ~ 1998년 : 서울시립대학교 전자전기공학부 조교수
- 1999년 ~ 현재 : 서울대학교 전기공학부, 조교수, 부교수, 교수
- 주관심분야 : 디지털 신호처리