

# JPEG 영상 복원을 위한 다중 모드 채도 복원과 연산 재배열 기반의 시간 최적화된 컬러 변환

김 영 주\*

## Time-optimized Color Conversion based on Multi-mode Chrominance Reconstruction and Operation Rearrangement for JPEG Image Decoding

Young-ju Kim \*

### 요 약

최근 모바일 장치에서 고해상도 영상의 인코딩 및 디코딩에 대한 요구가 늘어남에 따라 효율적인 영상 코덱 개발의 필요성이 증대되고 있다. 본 논문은 JPEG 디코딩 과정에서 IDCT 변환과 컬러변환 배열 간의 선형성을 바탕으로 이들 연산 순서를 재배열함으로써 컬러변환 과정에서 요구되는 계산 횟수를 줄이고 재배열된 부동소수점 연산에 정수 맵핑을 적용하여 시간 복잡도를 줄임으로써 실행시간을 크게 단축하는 컬러변환 기법을 제안한다. 또한, 제안된 기법은 연산 재배열 및 정수 맵핑의 양자화 오류로 인한 화질 저하를 다중 모드 채도 재구성 기법을 적용하여 보상하도록 한다. 임베디드 시스템 개발 플랫폼에서의 성능 평가를 통해 제안된 기법이 기존의 컬러변환 기법들과 비교하여 복원 영상의 화질 저하를 최소화하면서 실행시간을 크게 단축함을 알 수 있었다.

### Abstract

Recently, in the mobile device, the increase of the need for encoding and decoding of high-resolution images requires an efficient implementation of the image codec. This paper proposes a time-optimized color conversion method for the JPEG decoder, which reduces the number of calculations in the color conversion by the rearrangement of arithmetic operations being possible due to the linearity of the IDCT and the color conversion matrices and brings down the time complexity of the color conversion itself by the integer mapping replacing floating-point operations to the optimal fixed-point shift and addition operations, eventually reducing the time complexity of the JPEG decoder. And the proposed method compensates a decline of image quality incurred by the quantification error of the operation arrangement and the integer mapping by using the multi-mode chrominance reconstruction. The performance evaluation performed on the development platform of embedded systems showed that, compared to previous color conversion methods, the proposed method greatly reduces the image decoding time, minimizing the distortion of decoded images.

▶ Keyword : JPEG 코덱(JPEG Codec), 컬러변환(Color Conversion), 채도 재구성(Chrominance Reconstruction), 정수 맵핑(Integer Mapping), 연산 재배열(Operation Arrangement)

• 제1저자 : 김영주

• 투고일 : 2008. 12. 1, 심사일 : 2008. 12. 2, 게재확정일 : 2009. 1. 20.

\* 신라대학교 컴퓨터정보공학부 부교수

## I. 서론

최근 컴퓨터 및 이동통신 기술의 발달로 PDA, PMP, 모바일폰 등 모바일 장치가 급격하게 발전하여 그 시장을 확대하고 있다. 또한 모바일 장치에서의 주요 응용으로 영상통화, 정지영상 및 MP3 디스플레이 등 멀티미디어 데이터 처리 등이 주를 이루고 있다. 멀티미디어 데이터 처리는 많은 계산량을 요구하는 반면에 모바일 장치는 가격 및 공간 제약으로 인해 낮은 성능의 프로세서와 저용량의 메모리를 지원하여 이러한 요구를 적절하게 만족시키지 못한다. SoC(System on Chip) 등 프로세서 기술의 발전으로 처리 성능이 향상되고 있으나 이와 더불어 고해상도 영상 처리 등 고품질의 데이터 처리 요구가 증가함에 따라 여전히 큰 시스템 부하를 야기한다. 이에 멀티미디어 데이터 처리를 위한 효율적인 알고리즘 개발에 대한 요구가 지속적으로 증대되고 있으며, 본 논문은 모바일 장치에서 JPEG 압축 영상에 대해 복원 화질 저하를 최소화하면서 빠른 복원 처리를 위해 디코딩 과정의 마지막 단계인 컬러변환 과정을 최적화하는 기법을 제안한다.

JPEG 표준(1,2)에서 기술하고 있는 전형적인 JPEG 영상 디코딩 과정은 그림 1과 같으며, JPEG 코덱에 관한 많은 연구들이 각 단계별로 실행 시간을 최적화하기 위해 다양한 알고리즘을 제안되었다(3,4). 예를 들어 최근에는 Intel Pentium-II 프로세서의 MMX 명령어를 이용하여 디코딩 과정에서 가장 많은 시간을 요구하는 IDCT 변환을 최적화하는 기법 등을 볼 수 있다. 또한 엔트로피 디코딩 및 역양자화 등에 대해서는 오랜 동안 많은 연구가 진행되어 실제 많은 제품에 적용되는 등 최적화 기법이 보편화되고 있다.

컬러변환 연산은 JPEG 디코딩 과정에서 가장 많은 데이터를 처리하는 단계로서 많은 데이터에 대한 CPU와 메모리 사이의 전송 지연과 부동소수점 연산 등으로 전체 복원 시간 중에 15~25%의 높은 비중을 차지하는 반면에 최적화 연구는 부족한 형편이다(5). 최근 Yang(6)이 rounding 오류로 야기되는 화질 왜곡이 허용 가능한 범위 내에 있도록 부동소수점 연산

에 정수 맵핑(integer mapping) 기법을 적용하여 빠르게 컬러 변환을 실행하는 기법 등을 제안하였지만 단지 컬러변환 연산 자체의 시간 복잡도만을 고려하고 있다.

본 논문은 JPEG 디코딩 과정에서 IDCT 변환과 컬러변환 행렬 간에 존재하는 선형성을 바탕으로 이들 연산 순서를 재배열함으로써 컬러변환 과정에서 요구되는 계산 횟수를 줄이고 재배열된 부동소수점 연산에 대해 정수 맵핑을 적용함으로써 컬러변환의 시간 복잡도도 줄여 컬러변환의 전체 실행 시간을 줄이는 기법을 제안한다. 또한 연산 재배열 및 정수 맵핑의 양자화 오류(rounding 오류)로 인한 화질 저하를 다중 모드 채도 재구성 기법을 적용하여 보상하도록 하며, 임베디드 시스템 개발 플랫폼에서 실험을 통해 성능을 평가한다.

본 논문에서는 2장에서 관련 연구를 살펴보고 3장에서는 본 논문에서 제안한 컬러변환 기법을 설명한다. 4장에서는 제안된 기법의 성능을 평가하고, 5장에서 결론과 향후 연구를 제시하고 마무리한다.

## II. 관련연구

### 2.1 컬러 변환에 따른 오류 성분

일반적으로 컬러 영상 코덱은 입력되는 RGB 컬러 영상 데이터를 휘도 및 색상 정보로 구성되는 컬러 데이터로 변환하여 처리한다. 또한 인간 시각 시스템이 색상보다 휘도에 더 민감하게 반응하는 특성을 고려하여 색상 정보를 서브샘플링하여 처리한다(1,3). 컬러 영상의 인코딩 및 디코딩 과정에서 실행되는 컬러변환 연산은 오류 성분을 내포시켜 복원 영상의 왜곡을 발생시키는데, 컬러변환에 따른 오류 성분은 크게 다음과 같이 두 가지로 나누어진다(7).

첫째, 컬러변환에서 발생하는 양자화 오류로서 제한된 정밀도의 산술연산과 rounding 오류에 의해 야기된다. 주로 표준 컬러변환은 부동소수점 연산으로 이루어지며 연산 정밀도가 낮아 적은 정보 소실이 발생한다. 또한 변환된 컬러 정보를 적은 비트의 정수로 표현하여 저장하거나 처리하는데 정수 변

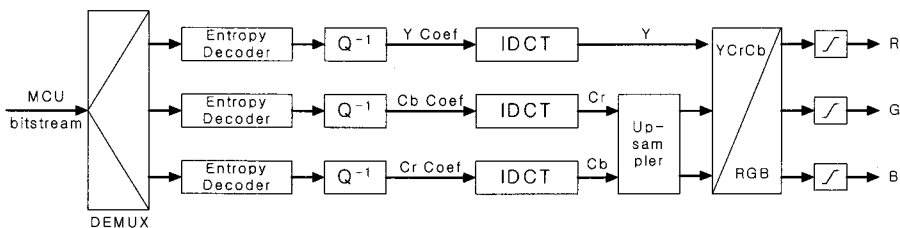


그림 1. 전형적인 JPEG 디코더 구조  
Fig. 1. Typical structure of a JPEG decoder

환에서의 rounding 오류로 인해 보다 큰 정보 손실이 발생하게 된다.

둘째, 색상 정보의 서브샘플링과 복원에 따른 오류로서 색상 정보의 서브샘플링(4:2:2 또는 4:2:0)은 공간 정보 손실을 야기하며, 복원 과정에서 주변 픽셀 정보를 이용한 보간(interpolation) 연산을 통해 삭제된 색상 정보를 업샘플링 하나 원래 색상 정보와의 차이로 인해 영상 왜곡을 야기한다.

본 논문에서는 JPEG 코덱의 디코딩 과정에서 YCbCr-to-RGB 컬러변환 및 색상 정보 복원 과정을 함께 고려하여 복원 영상의 화질 왜곡을 최소화 하고 실행시간을 상대적으로 크게 줄일 수 있는 컬러변환 알고리즘을 제안한다.

### 2.2 YCbCr-to-RGB 컬러변환

최근 JPEG-2000, MPEG-4 AVC/H.264 등의 고성능 영상 코덱 표준의 개발 과정에서 다양한 형태의 새로운 컬러 변환 기법인 ORCT, RDCT, YCoCg-R, YFbFr 그리고 YSbSr 등이 제안되었다[8,9]. 이들 컬러변환 기법은 컬러변환의 가역성(reversibility)에 의한 오류 최소화화 and 계산 복잡도 최소화에 초점을 맞추고 있다. 본 논문은 JPEG 코덱의 디코딩을 최적화 하기 위해 JPEG 표준에서 채택한 RGB 및 YCbCr 컬러공간사이의 변환만을 연구 범위로 한다.

RGB와 YCbCr 사이의 컬러변환은 일반적으로 ITU-R Recommendation BT.601-5 표준[2]에 제정되어 있는 변환 과정을 적용하며, 그 변환 과정은 식 (1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.499 \\ 0.499 & -0.418 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.402 \\ 1 & -0.3444 & -0.714 \\ 1 & 1.772 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ Cb-128 \\ Cr-128 \end{bmatrix}$$

식 (1)의 변환 과정을 구현하기 위해 다양한 알고리즘들이 제시되었으며, 특히 Yang[6]은 컬러변환 연산의 양자화 오류로 야기되는 복원 영상의 왜곡 범위를 분석하고, 정의된 왜곡 범위 내에서 정수 맵핑(integer mapping) 기법을 사용하여 정수 연산과 쉬프트 연산만을 이용한 빠른 변환 알고리즘을 제안하였으며, 변환 과정은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} R &= Y + Cr + Cr \gg 2 + Cr \gg 3 + Cr \gg 5; \\ G &= Y - (Cb \gg 2 + Cb \gg 4 + Cb \gg 5) \\ &\quad - (Cr \gg 1 + Cr \gg 3 + Cr \gg 4 + Cr \gg 5); \dots (2) \\ B &= Y + Cb \gg 1 + Cb \gg 2 + Cb \gg 6; \end{aligned}$$

Yang[6]은 실험을 통해 식 (2)의 변환 과정이 정수 연산만을 지원하는 DSP 플랫폼뿐만 아니라 PC 플랫폼에서도 최소의 영상 왜곡만을 허용하면서 보다 빠른 컬러변환을 지원함을 보였다. Yang[6]을 비롯한 현재까지 제안된 컬러변환 알고리즘들은 단순히 컬러변환 연산 자체의 시간 복잡도를 낮추는데 초점을 맞추었으며 컬러변환에서의 계산 횟수 등 계산량 측면은 고려하지 않았다.

### 2.3 컬러 구성성분 간의 상관관계를 이용한 채도 재구성

영상 데이터가 갖는 통계적 특성에 대한 많은 연구는 컬러 영상 데이터를 표현하는 다양한 컬러공간에서 구성성분들 사이에는 높은 상관관계를 갖고 있음을 제시하고 있다. Wan[10]은 휘도와 채도 성분 간의 상호상관관계(cross-correlation)를 분석하여 YCbCr 컬러공간이 RGB 컬러공간에 비교하여 유용한 에너지 압축을 제공할 뿐만 아니라 구성성분 간에 높은 상호상관관계를 갖고 있음을 보여주고 있다.

이러한 구성성분 간의 상관관계를 바탕으로 Schmitz[11]은 휘도 신호를 이용하여 에지 정보를 생성하고 이를 이용하여 채도 신호를 원래 해상도로 복원하는 베이지언 추정법(Bayesian estimation) 기반의 채도 재구성 기법을 제안하였으며, Qiu[12]은 적응적 학습을 수행하는 피드포워드 신경망(Feedforward neural network) 기법을 사용한 채도 재구성 알고리즘을 제안하고, 휘도 신호에서 추출된 이진 에지 정보를 이용하여 신경망을 적응적으로 학습시켰다.

Bartkowiak[13]은 휘도와 채도 변화율 간의 상호상관관계 계수(cross-correlation coefficient)에 대한 분석을 통해 휘도와 채도 변화율간의 상관관계가 원래 이들 성분사이의 상관관계보다 더 높게 나타남을 제시하였으며, 심지어 RGB 컬러공간에서도 동일한 결과가 나타남을 확인하였다. 또한 휘도와 채도 변화율을 이용하여 채도 성분을 재구성하는 적응적 가중치를 가진 2차원 선형 보간법을 제안하였다.

김[14]은 Bartkowiak[13]과 유사하게 휘도 성분의 변화율에 적응적으로 채도 성분을 재구성하나 변화율의 크기에 따라 채도 성분의 재구성 방법을 각기 다르게 적용하는 다중 모드 재구성(Multi-mode reconstruction) 기법을 제안하였다. 2차원 선형 보간법에 비해 복원 영상 화질에는 적은 영향을 미치면서 계산 시간을 단축하였으며, 일반적으로 많이 적용되는 1차원 선형 보간법과 비교하면 시간 복잡도는 증가하는 반면에 복원 영상 화질은 상대적으로 향상되었다. 다중 모드 재구성 기법을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

단계 1. 복원하려는 채도 샘플에 대응하는 휘도 성분의 샘플 블록에 대해 에지 반응도(G)를 계산한다. 에지 반응도는 휘도 성분의 샘플 블록 내에서의 변화량(gradient)으로 측정하며, 식 (3)과 같이 계산한다.  $y(i,j)$  ( $i, j=0, 1$ )를 2x2의 휘도 샘플 블록이라고 할 때,

$$g_h = \frac{1}{2} \left[ \sum_{j=0}^1 y(0,j) - \sum_{j=0}^1 y(1,j) \right]$$

$$g_v = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=0}^1 y(i,0) - \sum_{i=0}^1 y(i,1) \right] \dots\dots\dots (3)$$

$$G = \sqrt{(g_h)^2 + (g_v)^2}$$

단계 2. 에지 반응도의 수준에 따라 각각 다른 재구성 기법을 적용한다. 에지 반응도에 대해 두 개의 임계치 (threshold) ( $T_1, T_2$ )를 설정하고, 에지 반응도가 첫 번째 임계치  $T_1$ 보다 낮으면 채도 성분을 단순히 복사하는 단순 복사 기법을 적용하고, 두 번째 임계치  $T_2$ 보다 높은 경우에는 적응적 가중치를 가진 2차원 선형 보간법을 적용한다. 그리고 두 개의 임계치 사이에 있을 경우에는 고정 가중치를 가진 1차원 선형 보간법을 적용한다.

단계 3. 모든 채도 샘플에 대해 단계 1,2를 반복한다.

그림 2는 다중 모드 재구성 기법을 나타낸 것으로 일반적인 영상에서의 에지 반응도의 빈도 분포 형태와 임계치의 설정 방법을 보여주고 있다.

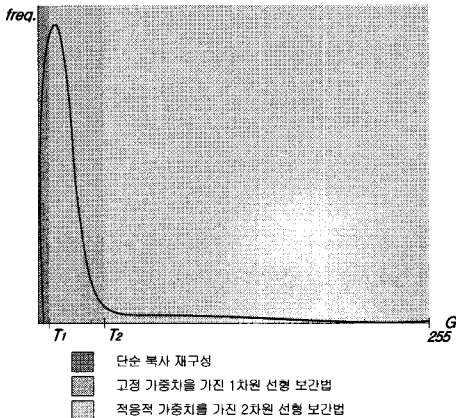


그림 2. 다중 모드 채도 재구성 기법  
Fig. 2. Multi-mode chrominance reconstruction method

## 2.4 DCT 기반 영상 코딩에서 양자화된 DCT 계수의 통계적 분포

DCT 기반 압축 영상 데이터에서 '0'이 아닌 양자화된 DCT 계수의 비율은 영상 블록의 내용(픽셀간의 변화량)이나 압축 비트율에 따라 달라진다. 일반적으로 JPEG 압축 영상에서 '0'이 아닌 양자화된 DCT 계수의 비율이 25%가 넘는 8x8 영상 블록의 통계적인 분포가 전체 영상 블록 수의 50%가 넘지 않는 것으로 알려져 있다[3]. '0'이 아닌 양자화된 DCT 계수의 비율은 복잡한 자연 이미지일수록 높아지며 단순한 그래픽 이미지일수록 매우 낮아진다. 이는 DCT 변환 원리에 의해 직관적으로 이해할 수 있다.

He[15]는 DCT 기반 영상 코딩에서 압축 비트율과 '0'인 양자화된 DCT 계수의 비율 사이에는 거의 선형 관계가 있음을 제시하였다. 즉, 압축 비트율이 증가하면 역으로 양자화된 DCT 계수 중에 '0'인 계수 비율이 선형적으로 감소함을 말한다. 일반적으로 비트율 제어 기법에서는 양자화 테이블에 대한 스케일링 연산을 통해 비트율을 제어하나, 스케일링 인수와 비트율 사이에는 선형 관계를 갖지 않는다. 그러나 본 논문에서 간단하게 양자화 테이블에 대한 스케일링 인수로 8개의 2의 승수  $2^{0.5}, 2^1, 2^{1.5}, \dots, 2^4$  을 사용하여 비트율을 제어한 후에 '0'인 양자화된 DCT 계수의 변화를 측정하여 압축 비트율과 DCT 계수 사이의 선형 관계를 확인하였다. 샘플 영상인 "Lena"에 대해 스케일링 인수를 변화해가면서 측정한 '0'인 양자화된 DCT 계수의 변화는 그림 3과 같다.

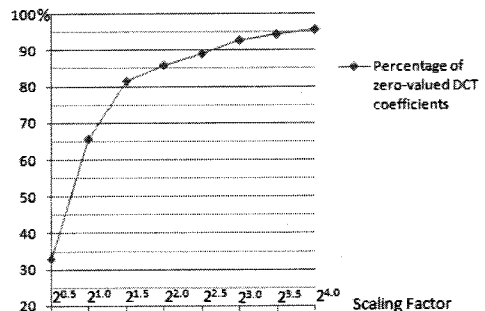


그림 3. "Lena" 영상에서 양자화 테이블 스케일링 인수에 따른 '0'인 양자화된 DCT 계수의 비율

Fig. 3. Percentage of zero-valued DCT coefficients versus scaling factors of the quantization table in "Lena" image

본 논문은 일반적으로 JPEG 압축 영상에서 '0'인 양자화된 DCT 계수의 분포가 높음에 근거하여 컬러변환 연산의 일부를 IDCT 변환 이전에 수행하도록 연산 순서를 재배열하여

컬러변환에서의 계산 횟수를 줄임으로써 전체 시간 복잡도를 줄이는 기법을 제시한다.

### III. 제안된 YCbCr-to-RGB 컬러변환 기법

시스템 이론 관점에서 보면 그림 1에서 제시된 JPEG 디코더의 핵심 알고리즘, 즉 IDCT(Inverse Discrete Cosine Transform) 변환과 컬러변환 과정은 선형 시간종속 시스템(linear time-dependent system)이라고 할 수 있다[5]. 이들 변환사이의 선형 시스템 특성은 자유롭게 두 개의 연산 과정을 순서를 바꾸어 실행 가능함을 의미한다. 이는 IDCT 변환을 YCbCr 컬러공간 또는 RGB 컬러공간 어디에서 실행하여도 결과가 같고, 그리하여 컬러변환 연산을 IDCT 변환 전에 수행할 수 있음을 나타낸다. 연산 순서를 재정렬하여 컬러변환 연산을 IDCT 변환 전에 수행하는 것은 많은 수의 '0'인 DCT 계수에 대해 컬러변환 연산을 건너뛴으로써 컬러변환에서 요구되는 시간 복잡도를 상당히 줄일 수 있다. 본 논문에서는 이러한 선형 시스템 특성을 바탕으로 연산 재배열을 통해 컬러변환 연산의 시간 복잡도를 줄이고자 한다.

IDCT 변환과 컬러변환의 연산 순서 재배열에서 가장 주의해야 할 요소는 채도 데이터의 업샘플(upsampling) 과정으로 실제 처리되는 데이터가 증가하는 과정이다. 예를 들어, JPEG 엔코딩 과정에서 4:2:0 모드의 서브샘플링을 사용한 경우에 업샘플링을 통해 채도 데이터가 4 배로 증가한다. 연산 재배열 통해 IDCT 변환 전에 업샘플링으로 채도 데이터가 증가할 경우 상대적으로 IDCT 변환 연산량이 증가하게 된다. 이에 본 논문에서 Bartkowiak[5]가 제안한 방법과 유사하게 식 (1)에서 주어진 컬러변환 행렬을 곱셈 및 덧셈 행렬로 분해하고 컬러변환 연산에서 계산 오버헤드가 큰 곱셈 연산 부분만을 IDCT 변환 전에 수행하도록 재배열하는 방법으로 접근하였다. 컬러변환 행렬의 곱셈 및 덧셈 행렬로의 분해는 식 (4)과 같다.

$$T = T_s T_m$$

$$\text{where } T_m = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.402 \\ 0 & 0 & 0.714 \\ 0 & 0.3444 & 0 \\ 0 & 1.772 & 0 \end{bmatrix}, \dots \dots \dots (4)$$

$$T_s = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

또한, 채도 성분 Cb와 Cr 각각에 대해 두 개의 곱셈이 병렬로 요구되는데, 이를 하나의 순차 연결된 곱셈 연산으로 대체할 수 있다. 즉, 식 (4)에서  $0.3444 \times Cb$ 는  $0.19436 \times (1.772 \times Cb)$ 로,  $0.714 \times Cr$ 은  $0.5093 \times (1.402 \times Cr)$ 로 대체할 수 있다. 이러한 연산 재배열 과정은 컬러변환 연산에서 요구되는 대부분의 곱셈 연산을 IDCT 변환 전에 수행하도록 할 수 있다.

추가적으로 연산 자체의 계산 복잡도를 낮추기 위해 재배열된 곱셈 연산에 대해 Yang[6]이 제안한 정수 맵핑 기법을 적용하도록 하였다. 양자화 오류의 허용 가능한 범위는 8-비트의 Y, Cb, Cr를 8-비트의 R, G, B로 변환하는 부동소수점 연산의 rounding 오류인 0.5가 되며, 정수 맵핑의 양자화 오류가 이 범위 내에 있도록 Yang[6]의 기법을 적용하면 부동소수점 곱셈 연산을 식 (5)과 같이 정수 값에 대한 쉬프트와 덧셈 연산으로 변환 가능하다.

$$\begin{aligned} 1.772 \times Cb_1 &= Cb_1 + Cb_1 \gg 1 + Cb_1 \gg 2 + Cb_1 \gg 6 \\ 1.402 \times Cr_1 &= Cr_1 + Cr_1 \gg 2 + Cr_1 \gg 3 + Cr_1 \gg 5 \dots (5) \\ 0.5093 \times Cb_2 &= Cb_2 \gg 1 + Cb_2 \gg 4 + Cb_2 \gg 5 \\ 0.19436 \times Cr_2 &= Cr_2 \gg 3 + Cr_2 \gg 4 + Cr_2 \gg 7 \end{aligned}$$

Yang[6]에서도 지적하였듯이 정수 맵핑의 양자화 오류가 허용된 범위에 있지만 복원 영상의 화질 저하를 야기하며, 또한 연산 재배열 과정에서 IDCT 변환으로 오류가 증폭되어 복원 영상 화질에 영향을 미친다. 본 논문에서는 IDCT 변환 후에 채도 데이터를 업샘플링하는 채도 재구성 과정에서 김[14]의 다중 모드 채도 재구성 기법을 적용하여 복원 영상의 품질 저하를 보상할 수 있도록 하였다. 다중 모드 재구성 기법은 비용 대비 복원 영상의 화질 향상이 상대적으로 높은 재구성 기법으로서 휘도 성분의 변화률에 따라 채도 재구성 모드를 다르게 적용한다. 개선된 컬러변화 과정에 맞추어 휘도 성분의 변화률에 의해 결정된 재구성 모드가 Cb 및 Cr 요소뿐만 아니라 녹색 C에 대응하는 채도 요소 Cb+Cr에 대해서도 동일하게 적용되도록 수정하였다.

상기와 같이 연산 재배열, 정수 맵핑 그리고 수정된 다중 모드 채도 재구성 기법을 적용하여 제안한 핵심 JPEG 디코딩 과정은 그림 4와 같다.

### IV. 실험 및 성능 평가

본 논문에서 제안한 컬러변환 기법은 JPEG 디코딩 시스템 내에서의 컬러변화 과정에 대해 연산 재배열 및 정수 맵핑을 적용하고 다중 모드 채도 재구성 기법을 통합함으로써 약

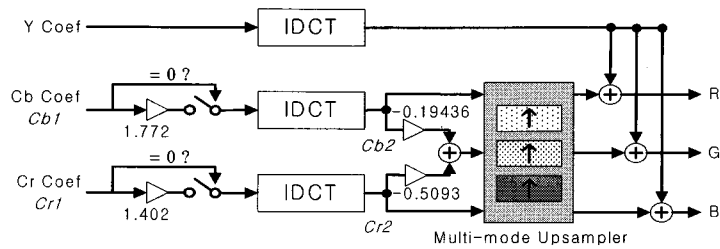


그림 4. 제안된 컬러변환 기법 기반의 핵심 JPEG 디코딩 과정  
 Fig. 4. Core JPEG decoding process based on the proposed color conversion method

간의 복원 영상 화질 저하를 허용하면서 전체 시간 복잡도를 줄이도록 접근한 알고리즘이며, PDA나 모바일폰 등과 같은 저성능 임베디드 시스템에서 동작하는 소프트웨어 JPEG 디코더에 적용하는 것을 목적으로 하고 있다. 본 논문은 이러한 특징과 관련하여 제안된 기법의 성능 평가를 위해 임베디드 시스템 개발 플랫폼에서 제안된 알고리즘을 구현하고 다양한 실험 영상을 이용하여 성능을 평가하였다. 좀 더 구체적으로 실험 환경을 살펴보면 표 1과 같다.

표 1. 성능 평가 실험 환경  
 Table 1. Experiment environment for performance evaluation

H/W	CPU	Intel Xscale PXA255 400MHz
	Memory	128 MB
	Flash Memory	64 MB Intel Strata NOR Flash Memory
S/W	O.S	Embedded Linux Kernel 2.4.20
	Compiling Tool	Cross-Toolchain(gcc 3.2.1/glibc 2.2.5) - supports software emulator for floating point operation
	JPEG Codec S/W	IJG JPEG Library version 6b(16) + arm patch

제안된 컬러변환 기법의 상대적인 성능을 평가하기 위해 다음의 두 가지의 컬러변환 기법과 성능을 비교하였다.

- (1) ITU-R Recommendation BT.601-5 표준 컬러변환(2)
- (2) Yang(6)의 정수 맵핑 기반의 빠른 컬러변환 기법

기법 (1)은 식 (1) 기반의 부동소수점 연산을 사용한 컬러변환 기법으로서 IJG JPEG 코덱 라이브러리(16)에서 구현된 것을 사용하였으며 가장 많이 사용되는 표준 컬러변환 기법과 제안된 기법간의 성능을 비교한다. 기법 (2)는 Yang(6)이 제안한 알고리즘을 IJG JPEG 코덱 라이브러리에 적용하여 구현하였으며, 단순히 컬러변환 연산 자체의 계산 복잡도만을 낮춘 경우와 연산 재배열을 통해 추가적으로 컬러변환 연산량을 줄인 제안된

기법간의 성능을 비교한다. 그리고 기법 (1)과 (2)에 적용되는 채도 재구성 기법은 IJG JPEG 코덱 라이브러리에서 구현된 1차원 선형 보간법을 사용하였다. 제안된 기법의 구현에서 다중 모드 채도 재구성 기법은 에지 반응도에 대한 임계치에 따라 성능이 좌우될 수 있는데 김(14)에서 사용한 임계치  $(T_1, T_2) = (7, 22)$  를 그대로 적용하였다.

실험 영상으로는 그림 5와 같이 5가지 영상을 사용하였으며, 이들 영상들은 일반적으로 JPEG 코덱 성능 평가에 주로 사용되는 영상으로서 영상 내의 공간 주파수 분포 특성을 고려하여 선정하였다.

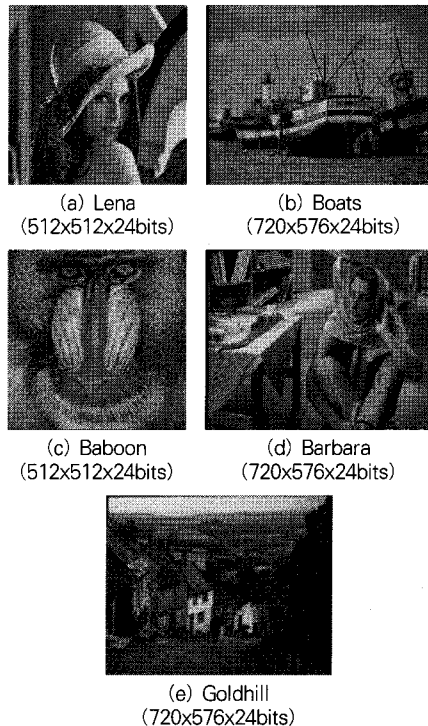


그림 5. 실험 영상  
 Fig. 5. Test images

본 논문은 먼저 5가지 실험 영상을 IJG JPEG 코덱 라이브러리를 이용하여 표준 품질(quality level=50)로 압축한 후에 제안된 기법을 포함한 3가지 컬러변환 기법을 적용하여 압축된 영상을 각각 복원하였다.

우선, 컬러변환 기법간의 시간 복잡도를 비교하기 위해 그림 6과 같이 실험 영상의 전체 복원 시간을 비교하였다. 이는 컬러변환 기법만을 시뮬레이션하여 단편적으로 비교하기보다는 컬러변환 기법을 실제 코덱 라이브러리에 적용하고 전체 영상 복원 시간을 비교함으로써 실제 적용 상황을 반영할 뿐만 아니라 제안된 기법이 단순히 컬러변환 연산과정만을 개선한 것이 아니라 개선된 채도 재구성 과정도 적용하고 있어 개선 요소를 복합적으로 고려하기 위함이다.

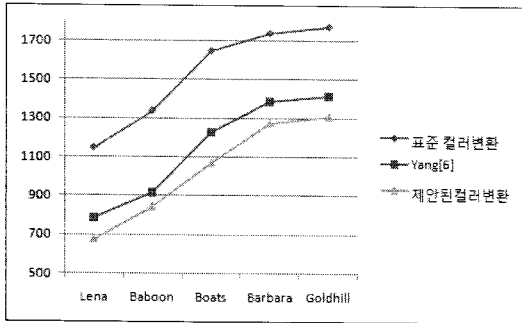


그림 6. 컬러변환기법에 따른 실험 영상의 복원 시간 비교  
Fig. 6. Comparison of decoding time of test images in terms of color conversion methods

그림 6에서 알 수 있듯이 제안된 기법이 표준 컬러변환 기법과 비교하여 평균적으로 37%~41%의 실행시간을 단축하는데, 이런 큰 차이는 임베디드 시스템에 탑재되는 대부분의 프로세서가 부동소수점 연산 명령어를 지원하지 않아 부동소수점 연산을 소프트웨어 에뮬레이션하여 지원하며 이로 인해 큰 지연이 발생하기 때문이다. 또한 Yang[6]의 기법에 비해 12%~18%의 실행 시간을 단축하고 있는데, 이는 연산 재배열을 통해 축소되는 곱셈 연산의 비중이 상대적으로 크며 그로 인해 계산 복잡도를 크게 줄일 수 있음을 의미한다.

제안된 기법의 시간 복잡도 감소가 복원 영상 화질에 미치는 영향을 분석하기 위해 컬러변환 기법 별로 복원 영상들에 대해 객관적인 영상 화질 측정치인 식 (6)의 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)[17]을 측정하여 비교하였다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \sqrt{\frac{255^2}{(MSE(R) + MSE(G) + MSE(B))/3}} \text{ dB} \quad (6)$$

표 2. 컬러변환 기법에 따른 실험 영상의 PSNR 비교  
Table 2. PSNR comparison of test images in terms of color conversion methods

	Lena	Boats	Baboon	Babara	Goldhill
표준 컬러변환	35.273	37.682	27.568	31.739	28.532
Yang[6]	32.856	36.134	24.837	30.156	26.954
제안된 컬러변환	33.958	37.475	27.385	31.522	28.345

표 2에서 알 수 있듯이 제안된 기법이 표준 컬러변환 기법과 비교하여 복원 영상의 화질 차이가 0.2~0.3 dB로 거의 무시할 정도이다. 반면에 Yang[6]의 컬러변환 기법보다는 1~3 dB 정도 향상됨을 보여주는데, 정수 맵핑의 양자화 오류로 야기된 영상 화질 저하를 다중 모드 재구성 기법을 통하여 어느 정도 보상하고 있음을 알 수 있다. 이는 김[14]에서 제시하였듯이 다중 모드 재구성 기법이 1차원 선형보간법과 비교하여 복원 영상 화질을 향상시키기 때문이다. 실험 영상 간에 PSNR 차이는 영상 내의 공간 주파수 분포가 각각 다르기 때문이며, 상대적으로 높은 공간 주파수 신호 분포가 큰 Baboon 영상의 경우 제안된 기법으로 복원 영상 화질이 표준 컬러변환 기법에 더 가깝게 보정됨을 알 수 있다.

다음은 영상의 압축 품질, 즉 압축 비트율에 따라 제안된 기법의 시간 복잡도가 어떻게 변하는지를 분석하기 위해 2.4절에서의 분석 환경과 동일하게 양자화 테이블에 대한 스케일링 인자를 8가지 값  $2^{0.5}, 2^1, 2^{1.5}, \dots, 2^4$  으로 변화시켜가면서 실행시간을 평가하였다. 실험 영상 "Lena"에 대해 압축 비트율을 변화에 따른 제안된 기법에 의한 복원 시간의 변화는 그림 7과 같다. 스케일링 인자의 값이 커질수록 실행 시간이 크게 단축되며 이러한 경향은 2.4절의 분석과 동일함을 알 수 있다.

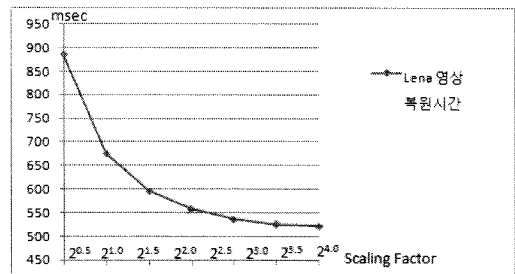


그림 7. 스케일링 인자에 따른 제안된 컬러변환 기법 기반의 "Lena" 영상 복원 시간

Fig. 7. Proposed color conversion method-based decoding times of "Lena" image in terms of scaling factors

## V. 결론 및 향후 연구

최근 컴퓨터 하드웨어 및 이동통신 기술의 발전으로 모바일 장치에서의 고해상도 영상 인코딩 및 디코딩에 대한 요구도 늘어남에 따라 효율적인 영상 코덱 개발에 대한 필요성이 증대되고 있다. 본 논문은 JPEG 디코딩 과정에서 실행시간 비중이 높으면서 최적화가 되고 있지 않은 컬러변환 과정에 대해 복원 화질 저하를 최소화하면서 시간 복잡도를 크게 줄인 컬러변환 기법을 제안, 적용함으로써 JPEG 디코딩의 전체 실행시간을 단축하였다.

제안된 컬러변환 기법은 컬러변환 연산 자체의 시간 복잡도뿐만 아니라 컬러변환에서의 계산 횟수를 같이 고려하여 실행시간을 단축한다. JPEG 디코딩 과정에서 IDCT 변환과 컬러변환 행렬 사이의 시간중속 선형성을 바탕으로 이들 간의 연산 순서를 재배열, 즉 컬러변환 행렬을 곱셈 행렬과 덧셈 행렬로 분해하고 곱셈 연산 일부를 IDCT 변환 전으로 재배열하여 '0'인 DCT 계수에 대한 곱셈 연산을 제거함으로써 컬러변환에서의 계산 횟수를 줄이도록 하였으며, 재배열된 부동소수점 곱셈 연산에 대해 정수 맵핑을 적용하여 컬러변환 연산 자체의 시간 복잡도도 낮추어 전체 시간 복잡도를 크게 줄일 수 있도록 하였다. 그리고 연산 재배열 및 정수 맵핑에 의한 양자화 오류는 영상 화질 저하를 야기하는데, 다중 모드 채도 재구성 기법을 적용하여 화질 저하를 보상하도록 하였다. 임베디드 시스템 개발 플랫폼 환경에서 다양한 실험 영상을 이용하여 제안된 알고리즘의 성능을 평가한 결과, 표준 컬러변환 기법과 Yang(6)의 정수 맵핑 기반의 빠른 컬러변환 기법에 비해 복원 화질 저하를 최소화하면서 실행시간을 크게 단축함을 알 수 있었다.

향후에는 제안된 컬러변환 기법에서 연산 재배열과 정수 맵핑에 의한 오류 성분을 줄임으로써 계산 복잡도가 낮은 채도 재구성으로도 복원 영상의 화질 왜곡을 최소화시키는 연구를 진행할 예정이며, 최근 이슈가 되고 있는 이동통신망에서의 고해상도 영상 전송을 위한 JPEG transcoding에 대한 연구도 병행할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] ISO/IEC IS 10918-1, ITU-R Rec. T.81, "Information Technology-Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Image: Requirements and guidelines," 1993.
- [2] ITU-R Recommendation BT.601-5, "Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and Wide-screen 16:9 Aspect-ratios"
- [3] V. Bhaskaran and K. Konstantinides, "Image and Video Compression Standards," Kluwer, 1998.
- [4] 윤석현, "가변 임계값을 갖는 JPEG 영상의 양자화 방법," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제8권, 제2호, 24-30 쪽, 2003년 6월.
- [5] M. Bartkowiak, "Optimizations of Color Transformation for Real Time Video Decoding," Digital Signal Processing for Multimedia Communications and Services, EURASIP ECMCS 2001, 2001.
- [6] Y. Yang, P. Yuhua and L. Zhaoguang, "A Fast Algorithm for YCbCr to RGB Conversion," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 53, Issue 4, pp. 1490-1493, 2007.
- [7] K. Saarinen, "Comparison of Decimation and Interpolation Methods in Case of Multiple Repeated RGB-YCbCr Colour Image Format Conversions," IEEE International Symposium on Circuits and Systems(ISCAS '94), Vol. 3, pp. 269-272, 1994.
- [8] P. Hao and Q. Shi, "Comparative Study of Color Transforms for Image Coding and Derivation of Integer Reversible Color Transform," 15<sup>th</sup> IEEE International Conf. on Pattern Recognition (ICPR '00), Vol. 3, Barcelona, Spain, 2000.
- [9] H. M. Kim, W. S. Kim and D. S. Cho, "A new color transform for RGB coding," International Conf. on Image Processing, Vol. 1, pp. 107-110, 2004.
- [10] X. Wan and J. C. Kuo, "Colour Distribution analysis and Quantization for Image Retrieval," Proc. of SPIE Conf. on Storage and Retrieval for Still Image and Video Databases, 1996.
- [11] B. Schmitz and R. Stevenson, "The Enhancement of Images Containing Subsampled Chrominance



- Information," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 6, pp. 1052-1056, 1997.
- [12] G. Qiu and G. Schaefer, "High Quality Enhancement of Low Resolution Colour Images," IEEE Int. Conf. on Image Processing and Its Applications, 1999.
- [13] M. Bartkowiak, "Improved Interpolation of 4:2:0 Color Images to 4:4:4 Format Exploiting Inter-Component Correlation," 12<sup>th</sup> European Signal Processing Conference EUSIPCO, 2004.
- [14] 김영주, "YCbCr 컬러공간에서 구성성분간의 상관관계를 이용한 축소된 채도 정보의 다중 모드 재구성," 한국콘텐츠학회논문지, 제8권, 제2호, 74-82쪽, 2008년 2월.
- [15] Z. He and S. K. Mitra, "A Linear Source Model and A Unified Rate Control Algorithm for DCT Video Coding," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 12, Issue 11, pp. 970-982, 2002.
- [16] Independent JPEG Group, JPEG Image Compression Library, <http://www.iwg.org>.
- [17] G. Sonja, G. Mislav, and M. Marta, "Reliability of Objective Picture Quality Measures," Journal of Electrical Engineering, Vol.55, No.1-2, pp. 3-10, 2004.

## 저자 소개



### 김영주

1990: 부산대학교 계산통계학과 석사  
1990~1995: 큐닉스컴퓨터 응용시스템연구소

1999: 부산대학교 전자계산학과 박사  
현재: 신라대학교 컴퓨터정보공학부 부교수

관심분야: 모바일컴퓨팅, 임베디드, 시스템, 멀티미디어처리