
YCbCr 컬러공간에서 구성성분간의 상관관계를 이용한 축소된 채도 정보의 다중 모드 재구성

Multi-Mode Reconstruction of Subsampled Chrominance Information using Inter-Component Correlation in YCbCr Colorspace

김영주
신라대학교 컴퓨터정보공학부

Young-Ju Kim(yjkim@silla.ac.kr)

요약

본 논문은 압축된 영상의 복원 과정에서 축소된 채도 정보를 휘도와 채도 성분의 상관관계를 이용하여 효율적으로 재구성하는 기법들에 대해 살펴보고, 기존에 계산 복잡도 측면에서 효율성을 보인 적응적 가중치를 가진 2차원 선형 보간법에 대해 문제점을 분석하였다. 그리고 본 논문은 2차원 선형 보간법에 대해 영상의 공간 주파수 분포를 고려하지 않는 문제점을 개선하고 저성능 시스템에 적용하기 위해 휘도 성분의 에지 반응도에 따라 계산 복잡도가 서로 다른 재구성 기법을 적용하는 다중 모드 재구성 기법을 제안하였으며, 임베디드 시스템 개발 플랫폼에서의 성능 평가 실험을 통해 유사한 수준의 복원 영상의 품질을 지원하면서 채도 재구성을 위한 계산 시간을 상대적으로 줄이고 있음을 확인하였다.

■ **중심어** : | 채도 재구성 | 채도 서브샘플링 | 컬러공간 변환 | YCbCr 컬러공간 | 영상 복원 |

Abstract

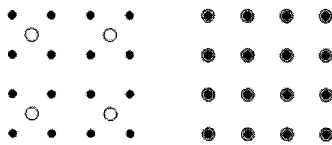
This paper investigates chrominance reconstruction methods that reconstruct subsampled chrominance information efficiently using the correlation between luminance and chrominance components in the decompression process of compressed images, and analyzes drawbacks involved in the adaptive-weighted 2-dimensional linear interpolation among the methods, which shows higher efficiency in the view of computational complexity than other methods. To improve the drawback that the spatial frequency distribution is not considered for the decompressed image and to support the application on a low-performance system in behalf of 2-dimensional linear interpolation, this paper proposes the multi-mode reconstruction method which uses three reconstruction methods having different computational complexity from each other according to the degree of edge response of luminance component. The performance evaluation on a development platform for embedded systems showed that the proposed reconstruction method supports the similar level of image quality for decompressed images while reducing the overall computation time for chrominance reconstruction in comparison with the 2-dimensional linear interpolation.

■ **keyword** : | Chrominance Reconstruction | Chroma Subsampling | Colorspace Conversion | YCbCr Colorspace | Image Decompression |

I. 서론

컬러 영상 데이터는 전송 시간이나 코딩 복잡도 등을 최소화하기 위해 서브샘플링(sub-sampling)을 통하여 축소한다. 인간 시각 시스템은 휘도(luminance) 정보보다 채도(chrominance) 정보에 덜 민감하다. 인간 시각 시스템의 지각 특성을 바탕으로 채도 정보를 서브샘플링하여 축소함으로써 영상을 표현하기 위해 요구되는 bit 수를 줄일 수 있다. 그러나 이러한 처리 방식은 정보 손실을 야기하며, 고해상도의 휘도 정보와 축소된 채도 정보에서의 에지(edge) 불일치는 들쭉날쭉한 톱니형 에지를 생성하고 잘못된 컬러 정보를 유도하게 된다. 따라서 채도 정보의 축소를 야기되는 시각적인 왜곡을 줄이기 위해서는 채도 정보를 원래의 해상도로 재구성하여야 한다[2-4].

일반적으로 영상 전송이나 저장을 위해 사용하고 있는 컬러 영상 압축 표준(JPEG 또는 MPEG 표준)에서는 [그림 1]과 같이 채도 정보에 대해 4:2:0 또는 4:2:2 서브샘플링 기법을 제안하여 적용하고 있다[1]. 따라서 압축된 영상을 디스플레이하기 위해 최종적으로 RGB 컬러공간으로 변환하기 전에 업샘플링(upsampling)을 통하여 채도 정보를 4:4:4 해상도로 재구성하여야 한다.



(a) 4:2:0 영상 샘플 (b) 4:4:4 영상 샘플
 그림 1. MPEG 표준에서 정의한 샘플링 기법
 (검은 점: 휘도 샘플, 흰 원: 채도 샘플)

축소된 채도 정보를 재구성하여 복원되는 영상의 품질을 향상시키기 위해 여러 가지 연구들이 진행되어 왔다. 이러한 연구들은 휘도 정보는 원래 상태를 유지되고 채도 정보만 축소된 사실을 바탕으로 휘도와 채도 성분사이의 상관관계를 이용하여 채도 정보의 복원을 시도하고 있다.

Schmitz[2]는 휘도 신호를 이용하여 에지 정보를 생성하고 이를 이용하여 채도 신호를 원래 해상도로 복원

하는 베이지언 추정법(Bayesian estimation) 기반의 재구성 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 반복적인 연산으로 인해 계산 복잡도 측면에서 비효율적이다. Qiu[3]은 적응적 학습을 수행하는 피드포워드 신경망(Feedforward neural network) 기법을 사용하여 채도 신호를 재구성하는 방법을 제안하였으며, 휘도 신호에서 추출된 이진 에지 정보를 이용하여 신경망을 적응적으로 학습시킨다. Bartkowiak[4]는 휘도와 채도 성분의 변화율(gradient)이 상당히 밀접한 관계가 있음을 제시하고 휘도 성분의 변화율 정보를 이용하여 가중치를 적응적으로 조정하고 이 가중치를 이용한 2차 선형 보간법(2-dimensional linear interpolation)을 제안하였다. 이 방법은 복잡한 신경망 연산을 사용하는 기법에 비해 상당히 계산 복잡도를 줄였을 뿐만 아니라 복원된 영상 품질도 향상됨을 보이고 있다.

본 논문은 Bartkowiak가 제안한 적응적 가중치를 가진 2차원 선형 보간법의 문제점들을 분석하고, 이들 문제점을 개선하여 모바일 장치와 같은 저성능 시스템에서도 적용할 수 있는 향상된 채도 정보 재구성 기법을 제안하고, 그 성능을 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 채도 정보 재구성 과 관련된 연구를 살펴보고 적응적 가중치를 가진 2차원 선형 보간법의 문제점을 분석하여 제시한다. 3장에서 다중 모드 재구성 기법을 제안하고 4장에서 성능 평가 결과를 제시한다. 5장에서 결론과 향후 연구로 마무리한다.

II. 관련 연구

2.1 컬러공간에서 구성성분간의 통계적 특성

영상 데이터가 갖는 통계적 특성에 대해 많은 연구가 이루어졌으며, 이러한 연구 결과는 컬러 영상 데이터를 표현하는 다양한 컬러공간에서 구성성분들 사이에는 높은 상관관계를 갖고 있음을 제시하고 있다[4-7].

최근에는 YCbCr 컬러공간이 RGB 컬러공간에 비해 유용한 에너지 압축을 지원한다는 사실에 기반하여 영상 데이터를 처리하거나 압축하는데 휘도-채도 기반

컬러공간(luminance-chrominance-based colorspace)을 주로 사용한다. 다시 말해, 휘도-채도 기반의 컬러공간에서는 대부분의 영상 신호 에너지가 휘도 성분에 포함되어 있는 반면에, 채도 성분은 제한된 동작 범위와 좁은 대역폭을 가진다는 특성을 활용하여 영상 처리 과정의 효율성을 높이고 있다[7].

Abel[5]와 Wan[6]은 휘도와 채도 성분 간의 상호상관관계(cross-correlation)를 분석하여 YCbCr 컬러공간이 RGB 컬러공간에 비교하여 유용한 에너지 압축을 제공할 뿐만 아니라 구성성분간에 높은 상호상관관계를 갖고 있음을 보여주고 있다.

Bartkowiak[4]은 인간 시각 시스템이 다차원의 통계량에 민감하다는 인지 특성을 확인하기 위해 컬러공간의 구성성분을 분리하여 개별적으로 그레이스케일 이미지로 나타내고 이들 이미지에 대해 비선형 연산을 통해 에지를 추출하는 Previrr 연산을 적용하여 화소간의 변화율을 산출하였다. 그리고 휘도와 채도 변화율 간에 상호상관관계수(cross-correlation coefficient)를 계산하여 분석하였다. 그 결과, 휘도와 채도 변화율간의 상관관계가 원래 이들 성분사이의 상관관계보다 더 높게 나타남을 알 수 있었으며, 심지어 RGB 컬러공간에서도 동일한 결과가 나타남을 확인하였다. 또한, 화소간의 거리를 일정하게 늘이더라도 이러한 상관관계에는 크게 영향을 미치지 않음을 실험을 통해 확인하였다.

결론적으로 말하면, 컬러 변환으로 인한 구성성분간의 오차 증속성은 이미지 압축 등과 같은 컬러공간 변환을 활용하는 영상 처리에서 이용할 수 있음을 알 수 있다.

2.2 적응적 가중치를 가진 2차원 선형 보간법

우선 Bartkowiak가 제안한 적응적 가중치를 가진 2차원 선형 보간법에서 1차원 선형 보간법에 대해 알아본다. 이웃하는 화소들을 지나가는 축의 변화율을 [그림 2]에서 보여주는 방법과 같이 결정할 수 있다.

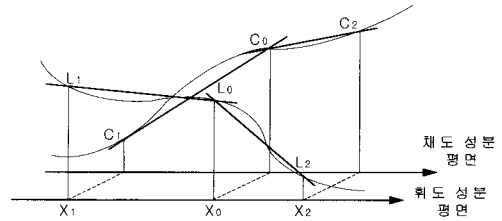


그림 2. 휘도와 채도 성분사이의 변화율 관계

휘도와 채도의 변화율은 서로 높은 상관관계를 가지므로 휘도 성분의 이웃하는 변화율간의 비율과 채도 성분의 이웃하는 변화율간의 비율은 유사하다. 이를 수식으로 기술하면 식 (1)과 같으며, 이를 단순화하면 식 (2)과 같다.

$$\frac{\left| \frac{L_1 - L_0}{x_1 - x_0} \right|}{\left| \frac{L_2 - L_0}{x_2 - x_0} \right|} = \frac{\left| \frac{C_1 - C_0}{x_1 - x_0} \right|}{\left| \frac{C_2 - C_0}{x_2 - x_0} \right|} \quad (1)$$

$$\frac{|L_1 - L_0|}{|L_2 - L_0|} = \frac{|C_1 - C_0|}{|C_2 - C_0|} \quad (2)$$

식(2)을 이용하여 재구성하고자 하는 채도 성분 값을 예측할 수 있는 식을 식 (3)과 같이 유도할 수 있다.

$$\widehat{C}_0 = k_1 C_1 + k_2 C_2 \quad (3)$$

여기서, $k_1 = \frac{|L_2 - L_0|}{|L_2 - L_0| + |L_1 - L_0|}$, $k_2 = \frac{|L_1 - L_0|}{|L_2 - L_0| + |L_1 - L_0|}$ 는 합이 1인 음수가 아닌 가중치를 정의하고 있으며, L_0, L_1 그리고 L_2 사이의 관계를 고려하여 적응적으로 생성된다.

1차원 선형 보간법은 2차원 신호(영상 데이터)에 대해 여러 가지 방법으로 적용할 수 있다. Bartkowiak가 제안한 방법은 [그림 3]과 같이 2 단계로 동작한다. 첫 단계에서 식 (3)을 이용하여 이웃하는 두 개의 채도 샘플로부터 중간 채도 샘플을 계산한다. 다음 단계에서는 원래의 샘플과 중간 샘플을 이용하여 샘플 격자의 대각 방향으로 2번의 보간을 수행하고 그 결과 값을 선형으로 조합하여 최종적인 채도 샘플을 계산한다.

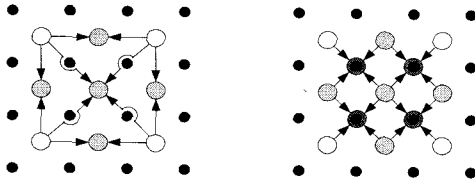


그림 3. 4:2:0 서브샘플링된 채도 샘플을 재구성하는 2차원 선형 보간법

2.3 제안된 2차원 선형 보간법의 문제점

Bartkowiak가 제안한 2차원 선형 보간법은 기존의 채도 재구성 기법과 비교하여 비슷한 수준의 영상 품질 향상을 지원하면서 비교적 낮은 계산 복잡도를 갖는다. 이에 본 논문에서는 2차원 선형 보간법을 다양한 종류의 영상에 적용한 후에 인간 시각 시스템의 인지 특성 관점에서 동작 특성을 분석하였으며, 몇몇 주요 분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 휘도 성분의 변화량이 미세한 영역에서 2차원 선형 보간법과 단순 복사에 의해 복원된 채도 성분들에 대해 인간 시각 시스템이 그 차이를 식별하지 못한다. 즉, 인간의 인지 특성 관점에서 단순한 채도 성분 재구성 기법과 비교할 때, 2차원 선형 보간법에 의해 재구성 되는 채도 성분이 영상 품질 향상에 미치는 영향이 모든 영상 영역에서 일정하지 않으며, 휘도 성분의 변화량에 따라 달라진다.

둘째, [그림 4]는 대표적인 샘플 영상인 "Lena"에 대해 휘도 성분의 수직 및 수평 변화량에 대해 빈도 분포를 나타낸 것이다. 휘도 성분의 변화량이 낮은 영역에 빈도 분포가 크게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 수평 변화량보다 수직 변화량에서 이러한 현상이 더욱 두드러짐을 알 수 있다. 이 결과를 앞에서 제시한 분석 결과와 같이 고려해 볼 때에 영상의 많은 영역에서 계산량에 비해 품질 향상이 크지 않으며, 이는 상대적으로 계산 오버헤드가 크다고 할 수 있다.

셋째, 2차원 선형 보간법이 영상 품질을 효과적으로 향상시키는 경우는 휘도 성분의 변화량이 비교적 높은 수준일 때이며, 이는 복원 영역에 식별 가능한 에지(edge)가 존재하는 경우에 해당한다.

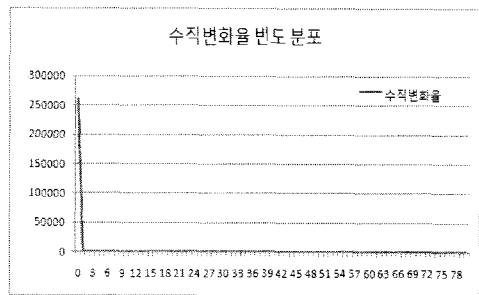
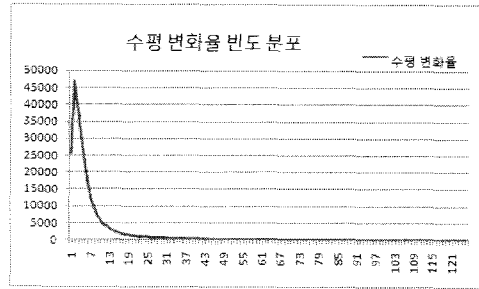


그림 4. 휘도 성분의 변화량의 빈도 분포

넷째, 2차원 선형 보간법은 동일한 값의 휘도 샘플이 반복될 때에 식 (3)에 의해 가중치 값이 모두 0이 되어 적절하게 채도 성분을 복원할 수 없는데, 이러한 예외적인 사항에 대한 처리를 제시하지 않고 있다.

다섯째, 2차원 선형 보간법은 저성능의 시스템에서 적용하기에 계산 복잡도가 상대적으로 높다. 우선 2차원 선형 보간법은 가중치 값이 실수형이기 때문에 전체 연산이 실수형 연산으로 이루어지며, 4개의 채도 성분을 재구성하기 위해서 13번의 가중치 계산 및 1차원 보간 연산을 요구한다. 이러한 계산 복잡도는 저성능의 프로세서를 탑재한 모바일 장치 등에 적용하기에 상당한 부하를 야기하게 된다.

2.4 영상 품질 측정(Image Quality Assessment)

영상 처리 및 영상 통신 분야에서는 영상 처리 또는 영상 압축 알고리즘의 성능을 평가하거나 이들 알고리즘들의 파라미터 설정 또는 복원 영상의 품질 모니터링 등을 위하여 영상 품질을 수리적으로 양적인 값으로 나타낼 수 있는 객관적인 영상 품질 측정(Objective Image Quality Assessment) 기법에 대해 많은 연구가 있었다[8-10].

일반적으로 MSE(Mean Squared Error) 또는 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)이 영상 신호의 여러 민감도에 기반하여 영상 품질을 측정하는 기법으로서 계산의 단순성과 명확한 물리적인 개념을 바탕으로 가장 많이 적용되고 있다. 그러나 이전의 여러 연구들에서 이들 측정 방법들이 인간이 인지하는 영상 품질을 측정하는 데는 부적합함을 보여주고 있다[8].

이에 인간의 영상 인지 품질을 측정하기 위하여 여러 가지 기법들이 제안되었으며, 대표적인 것으로 PQS(Picture Quality Scale)과 SSIM(Structural Similarity) index 등이 있다[9][10]. PQS는 다양한 왜곡 인지 측정값을 계산하고 이를 가중 결합하여 하나의 품질 측정치로 제시하는데 계산 과정이 복잡할 뿐만 아니라 내용이 복잡한 영상에 대해서는 품질을 측정하지 못하는 경우가 발생한다[9].

SSIM index는 인간 시각 시스템은 가시 영역으로부터 구조적인 정보를 민감하게 적응적으로 추출한다는 특징과 영상에 대한 구조적인 정보는 밝기와 대비 변화에 영향을 받지 않는다는 사실에 기반하여 구조적인 정보의 변화 측정값을 영상 품질 측정에 활용하는 기법으로서 화소들의 평균값을 이용한 밝기(luminance) 비교 측정값, 화소들의 표준 편차를 이용한 대비(contrast) 비교 측정값 그리고 화소들의 상관관계를 이용한 구조(structure) 비교 측정값을 가중 결합하여 영상 품질 측정치를 계산한다[10].

SSIM 인덱싱 기법은 하나의 영상에 대해 8x8 윈도우를 적용하여 영상 품질을 측정하는데 윈도우를 영상의 왼쪽 상단에서 오른쪽 하단으로 화소 단위로 이동하면서 SSIM index를 계산하여 품질 맵을 생성하고 이들 SSIM index들의 평균값을 계산하여 하나의 영상 품질 측정치(MSSIM: Mean SSIM)로 제시한다.

본 논문은 인간의 인지 특성에 관점에서 2차원 선형 보간법과 유사한 복원 영상 품질을 제공하면서 계산 복잡도를 줄일 수 있는 채도 성분의 재구성 기법을 제안하고자 하며, 성능 평가의 편이성 등을 고려하여 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 SSIM index를 사용하도록 한다.

III. 다중 모드 채도 재구성 기법

본 논문에서는 2.3절에서 살펴본 문제점을 적절히 고려하여 2차원 선형 보간법과 유사한 수준의 복원 영상 품질을 지원하면서 계산 복잡도가 낮아 모바일 장치와 같이 낮은 성능을 가진 시스템에서 적용이 가능한 채도 재구성 기법을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 재구성 기법은 2.3절에서 분석된 내용과 영상의 구조적인 정보 추출에 민감한 인간 시각 시스템의 특성을 바탕으로 휘도와 채도 성분의 상관관계에 기반하여 휘도 성분의 변화량의 크기에 따라 채도 성분의 재구성 기법을 다르게 적용하는 다중 모드 재구성(Multi-mode reconstruction) 기법이다. 제안된 재구성 기법의 동작을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

단계 1. 복원하려는 채도 샘플에 대응하는 휘도 성분의 샘플 블록에 대해 에지 존재 여부를 판별할 수 있는 에지 반응도(G)를 계산한다. 에지 반응도는 휘도 성분의 샘플 블록 내에서의 변화량(gradient)으로 측정하며, 다음과 같이 계산한다.

$y(i,j)(i, j=0, 1)$ 를 2x2의 휘도 샘플 블록이라고 할 때,

$$\begin{aligned} g_h &= \frac{1}{2} \left[\sum_{j=0}^1 y(0,j) - \sum_{j=0}^1 y(1,j) \right] \\ g_v &= \frac{1}{2} \left[\sum_{i=0}^1 y(i,0) - \sum_{i=0}^1 y(i,1) \right] \\ G &= \sqrt{(g_h)^2 + (g_v)^2} \end{aligned} \quad (4)$$

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 복사에 의한 재구성 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 5]는 제안된 다중 모드 재구성 기법을 나타낸 것으로 일반적인 영상에서의 에지 반응도의 빈도 분포 형태와 임계치의 설정 방법을 보여주고 있다.

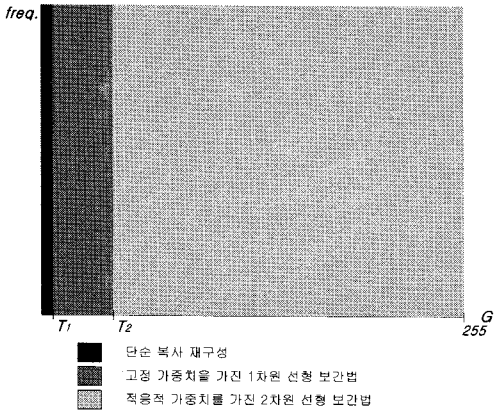


그림 5. 제안된 다중 모드 재구성 기법

단순 복사 재구성 기법은 연산 과정이 간단하여 주로 하드웨어 코덱 구현에 적용되고 있으며[11], 1차원 선형 보간법은 JPEG 또는 MPEG 소프트웨어 코덱에 일반적으로 적용되고 있어 그 성능은 어느 정도 검증이 되었다[1][11]. 그리고 2차원 선형 보간법 또한 참고 문헌[4]에서 성능이 평가되었다.

또한, 위에서 언급한 재구성 과정에서 휘도 샘플 블록에 대한 에지 반응도 계산은 채도 샘플 단위로 반복 수행되어 전체적인 계산 부하 중에서 큰 비중을 차지하고 있다. 이에 에지 반응도 계산을 위해 식 (5)과 같이 정수형 연산에 기반한 계산 과정을 적용하여 계산 복잡도를 더욱 낮추도록 한다.

$$\begin{aligned}
 g^b &= \left| \sum_{j=0}^1 y(0,j) - \sum_{j=0}^1 y(1,j) \right| \\
 g^r &= \left| \sum_{i=0}^1 y(i,0) - \sum_{i=0}^1 y(i,1) \right| \\
 G &= g^b + g^r
 \end{aligned} \tag{5}$$

다중 모드 재구성 기법은 임계치 (T_1 , T_2)의 설정에 따라 성능이 크게 좌우된다. 또한 이 임계치는 복원하고자 하는 영상의 공간 주파수 분포 특성을 고려하여 동적으로 설정하여야 최적의 성능을 얻을 수 있다. 그러나 본 논문에서는 다양한 영상에 대해 실험을 통해 일정한 수준의 성능을 제시하는 임계치를 경험적으로 설정하여 사용하도록 한다.

IV. 성능 평가

다중 모드 재구성 기법은 영상 데이터를 나타내는 컬러공간의 구성성분간의 상관관계를 이용하여 채도 정보를 재구성하는 기법으로서 높은 영상 품질을 지원하는 기존의 재구성 기법에 비해 계산 복잡도가 낮아 모바일 장치와 같이 저성능 시스템에서 적용이 가능하다. 본 논문은 다중 모드 재구성 기법의 이러한 특징을 평가하기 위해 임베디드 시스템 개발 플랫폼에서 제안된 알고리즘을 구현하고 다양한 영상을 이용하여 성능을 평가하였다.

우선, 성능 평가를 위한 실험 환경을 살펴보면 [표 1]과 같으며, 일반적으로 모바일 장치를 개발하는 임베디드 시스템 개발 플랫폼에서 실험을 수행하였다.

표 1. 성능 평가 실험 환경

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) - support software emulator for floating point operation
	JPEG Codec S/W	IJG JPEG Library version 6b + arm patch

그리고 다중 모드 재구성 기법의 성능을 평가하기 위해 다음의 3가지 재구성 기법과 성능을 비교하였다.

- (1) 단순 복사에 의한 재구성 기법
- (2) 고정 가중치를 가진 1차원 선형 보간법
- (3) 적응적 가중치를 가진 2차원 선형 보간법

(1) 기법 및 (2) 기법은 IJG JPEG 코덱 라이브러리에서 구현된 것을 사용하였으며, 1차원 선형 보간법에서 적용되는 필터는 식 (6)과 같다.

$$h(x) = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 9 & 3 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

다중 모드 재구성 기법은 에지 반응도에 대한 임계치에 따라 성능이 좌우된다. 이에 본 논문은 실험에 적용된 영상들에 대해 수평 및 수직 변화를 빈도 분포와 실제 실험을 통한 성능 결과를 고려하여 다중 모드 재구성 기법의 복원 품질이 2차원 선형 보간법의 복원 품질의 85~95%가 되도록 임계치 (T_L, T_S)를 (7, 22)로 경험적으로 설정하여 실험하였다. 이러한 임계치 설정은 복원 영상의 품질을 일정한 수준으로 유지하도록 기준을 설정한 다음, 계산 복잡도를 비교하기 위함이다.

실험에 사용된 영상으로는 [그림 6]과 같이 5가지 영상을 사용하였으며, 이들 영상들은 일반적으로 JPEG 코덱 성능 평가에 주로 사용되는 영상으로서 영상 내의 공간 주파수 분포 특성을 고려하여 선정하였다.

본 논문은 우선 [그림 6]의 5가지 실험 영상을 IJG JPEG 코덱 라이브러리를 이용하여 압축(quality level=50)한 후에 제안된 기법을 포함한 4가지 채도 성분 재구성 기법을 적용하여 압축된 영상을 복원하였다.

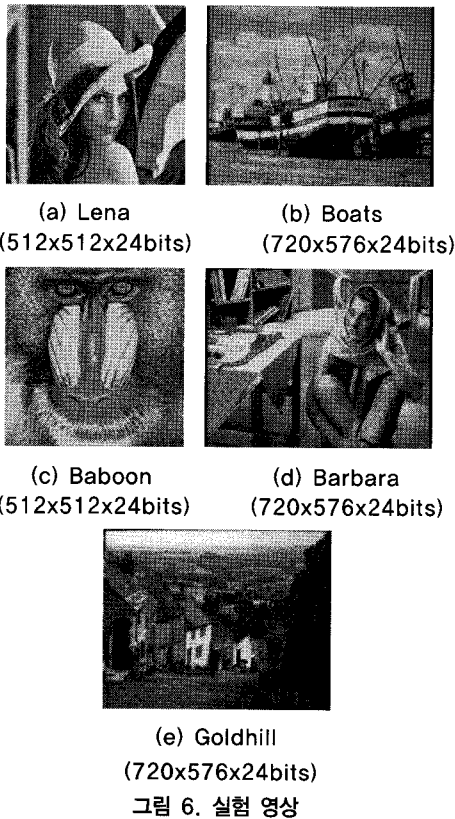


그림 6. 실험 영상

복원 영상의 품질을 평가하기 위해 원본 영상과 복원 영상에 대해 PSNR과 SSIM index를 측정하여 비교하였다. 이때 PSNR과 SSIM index의 측정은 참고문헌 [12]에서 제공하는 MSU Video Quality Measurement Tool 프로그램을 사용하였다. 복원 영상의 SSIM index를 재구성 기법별로 비교한 결과는 [그림 7]과 같다.

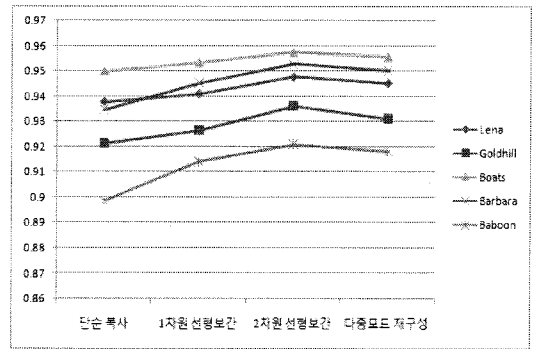
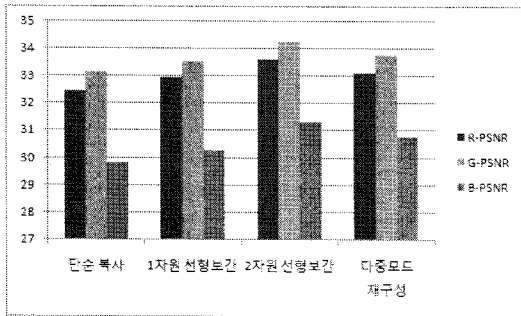


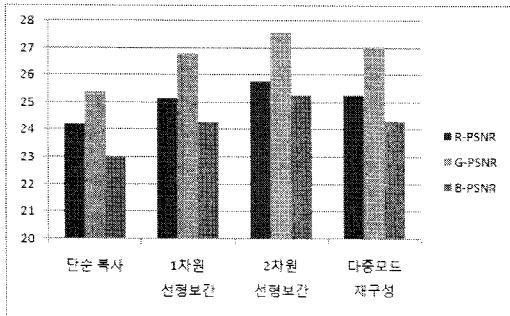
그림 7. 복원 영상의 SSIM index 비교

[그림 7]에서 알 수 있듯이 다중 모드 재구성 기법의 복원 영상 품질은 전체적으로 2차원 선형 보간법에 비해 다소 낮게 나오는데, 이는 다중 모드 재구성 기법에서 적용되는 임계치를 복원 영상의 품질을 고려하여 설정하였기 때문이다. 실험 영상들 사이에 영상 품질이 차이가 나는 것은 실험 영상들의 공간 주파수 분포 특성이 각기 다르기 때문이며, 특히 Baboon 영상의 품질이 비교적 낮은 것은 높은 공간 주파수를 가진 신호의 분포가 다른 영상에 비해 크기 때문이다.

YCbCr 컬러공간에서 채도 성분의 재구성은 RGB 컬러공간의 모든 구성성분(Red, Green, Blue)에 영향을 미친다. 채도 성분 재구성 기법이 RGB 컬러공간의 구성성분에 미치는 영향을 살펴보기 위해 각 색상 채널별로 PSNR을 측정하여 비교하였다. [그림 8]의 (a)와 (b)는 각각 Lena와 Baboon 영상에서 색상 채널별 PSNR을 재구성 기법별로 비교한 것이다.



(a) Lena 영상에서의 색상 채널별 PSNR 비교



(b) Baboon 영상에서의 색상 채널별 PSNR 비교
 그림 8. 재구성 기법에 따른 색상 채널별 PSNR 비교

[그림 8]은 PSNR도 SSIM index와 같은 유형으로 향상되고 있음을 보여주고 있으며, 재구성 기법간에 Baboon 영상의 PSNR 변화폭이 크게 나타나는 것은 앞에서 지적한 것과 같이 높은 공간 주파수를 가진 신호의 분포가 크기 때문이다.

[그림 9]는 각 실험 영상에 대해 채도 성분 재구성 기법들을 적용하여 복원하는데 걸리는 처리 시간을 비교한 것이다. 측정된 영상 복원 시간은 JPEG decoder 프로그램의 시작에서 종료할 때까지의 시간을 측정한 것으로 플래시 메모리에서 압축된 영상을 읽고 복원된 영상을 플래시 메모리에 저장하는 시간까지도 포함하여 채도 성분 재구성 기법 사이의 실행 시간 차이를 직접적으로 비교하기는 힘들지만 상대적인 비교를 통해 재구성 기법이 실행 시간이 단축됨을 알 수 있다.

[그림 9]에서 실험 영상 사이의 복원 시간 차이는 영상 크기 차이 및 영상 내의 공간 주파수 분포 특성에서 기인한 것이며, Lena 영상에서 다중 모드 재구성 기법

의 복원 시간이 2차원 선형 보간법에 비해 많이 낮은 것은 낮은 공간 주파수 신호의 분포가 높기 때문이며, 이에 반해 Baboon 영상의 경우에는 높은 공간 주파수 신호의 분포가 커서 복원 시간 감소가 적게 나타나고 있다.

다중 모드 재구성 기법은 2차원 선형 보간법에 비해 평균적으로 15~25%의 실행 시간을 단축하고 있음을 알 수 있으며, 현재 가장 많이 적용되고 있는 1차원 선형 보간법에 비해 계산 부하가 크게 높지 않음을 알 수 있다.

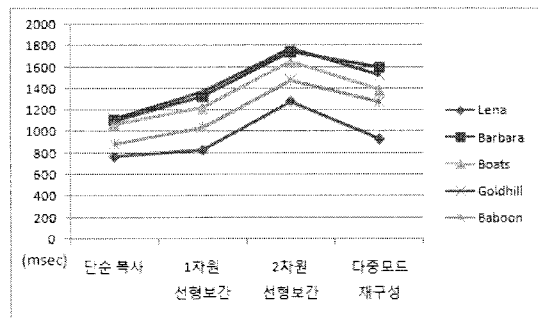


그림 9. 재구성 기법에 따른 영상 복원 시간 비교

V. 결론 및 향후 연구

본 논문은 압축된 영상의 복원 과정에서 축소된 채도 정보를 재구성하는 기법에 대해 살펴보았으며, YCbCr 컬러공간에서 휘도와 채도 성분 간의 상관관계를 이용하여 향상된 채도 정보를 복원하는 최근 연구들에 대해 살펴보았다. 그리고 Bartkowiak가 제안한 적응적 가중치를 적용한 2차원 선형 보간법에 대해 문제점을 분석한 다음, 그에 대한 개선책으로 휘도 성분의 에지 반송도에 따라 재구성 기법을 달리 적용하는 다중 모드 재구성 기법을 제안하고 성능을 평가하였다. 성능 평가 결과를 통해 다중 모드 재구성 기법이 2차원 선형 보간법과 비교하여 유사한 복원 영상 품질을 제공하면서 계산 시간을 15~25% 정도 줄이고 있음을 알 수 있었다. 또한 임베디드 시스템 개발 플랫폼에서 성능 평가 실험을 수행하여 제안된 기법이 모바일 장치와 같이 저성능 시스템에서도 적용 가능함을 확인하였다.

향후 연구에서는 다중 모드 재구성 기법의 성능을 좌우하는 임계치를 동적으로 설정할 수 있는 방법과 압축영상의 복원 과정에서 컬러공간 변환 과정과의 통합을 통해 전체 복원 계산 시간을 단축하는 방법에 대해 연구를 진행할 예정이다.

참고 문헌

[1] ISO/IEC IS 11172-2, Coding of moving pictures and associated audio, part 2: video.

[2] B. Schmitz and R. Stevenson, "The enhancement of images containing subsampled chrominance information," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.6, pp.1052-1056, 1997.

[3] G. Qiu and G. Schaefer, "High quality enhancement of low resolution colour images," IEEE Int. Conference on Image Processing and Its Applications, 1999.

[4] B. Maciej, "Improved Interpolation of 4:2:0 Color Images to 4:4:4 Format Exploiting Inter-Component Correlation," 12th European Signal Processing Conference EUSIPCO, 2004.

[5] J. S. Abel, V. Bhaskaran, and H. J. Lee, "Colour image coding using an orthogonal decomposition," Image Proc. Algorithms and Techniques III, SPIE, Vol.1657, pp.58-67, 1992.

[6] 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.

[7] S. J. Sangwine and R. E. N. Home, The Colour Image Processing Handbook, Chapman & Hall, London, 1998.

[8] G. Sonja, G. Mislav, and M. Marta, "Reliability of Objective Picture Quality Measures," J. of Electrical Engineering, Vol.55, No.1-2, pp.3-10, 2004.

[9] M. Miyahara, K. Kotani, and V. R. Algazi, "Objective Picture Quality Scale(PQS) for Image Coding," IEEE Trans. on Communications, 46 No.9, pp.1215-1226, 1998.

[10] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.13, No.4, pp.600-612, 2004.

[11] Wolberg, G., Digital Image Wrapping, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1992.

[12] http://www.compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html

저자 소개

김 영 주(Young-Ju Kim)

정회원



- 1990년 2월 : 부산대학교 계산 통계학과(이학석사)
 - 1990년 1월 ~ 1995년 8월 : 큐닉스컴퓨터 응용시스템연구소 선임연구원
 - 1999년 8월 : 부산대학교전자계산학과(이학박사)
 - 2000년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 교수
- <관심분야> : 멀티미디어통신, 영상처리 및 압축, 모바일 컴퓨팅, 임베디드시스템