

특집논문-05-10-4-04

DCT 도메인에서의 주파수 해상도 확장 기법을 이용한 효과적인 이미지 업샘플링

박 승 옥^{a)*}, 박 지 호^{a)}, 전 병 문^{a)}, 박 현 옥^{a)}

Efficient Image Upsampling using Frequency Resolution Expansion Schemes in DCT Domain

Seung-Wook Park^{a)*}, Ji-Ho Park^{a)}, Byeong-Moon Jeon^{a)} and Hyun Wook Park^{a)}

요 약

이미지 업샘플링은 두개의 도메인, 즉 공간 도메인과 주파수 도메인에서 수행될 수 있다. 공간 도메인에서의 대표적인 업샘플링 방법으로는 6-탭 필터를 이용한 방법이 있으며 이 기법은 현재 다양한 비디오 코덱에서 사용되고 있다. 이 방법은 주관적 화질 향상에는 장점이 있는 반면 블러링(blurring)을 발생시켜 객관적 성능은 상대적으로 낮다. 주파수 도메인에서의 업샘플링 방법으로는 영 패딩(simple zero padding) 기법이 있으며 존재하지 않는 주파수 성분을 모두 영으로 채워 역변환을 함으로 업샘플링을 하는 방법이다. 이 방법은 상대적으로 링잉(ringing)효과로 인한 주관적 화질 저하가 있는 반면 객관적인 성능은 공간적 업샘플링 방법에 비해 높은 성능을 보인다. 본 논문에서는 주관적 성능 뿐 아니라 객관적 성능까지도 향상시킬 수 있는 주파수 확장 기법을 이용한 업샘플링 기법을 제안한다. 실험 결과를 통해 제안하는 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 PSNR 향상 및 주관적 화질도 향상됨을 알 수 있다.

Abstract

Image upsampling can be performed in both spatial and frequency (transform) domain. In the spatial domain, various upsampling techniques are developed and 6-tap FIR interpolation filter is most well known method, which is embedded in many video coding standards. It can provide high subjective quality but shows low objective quality. In the transform domain, simple zero padding method can produce upsampled image easily. It shows better objective quality than 6-tap filtering, but it yields ringing effects which annoy eyes. In this paper, we present efficient upsampling method using frequency addition method in transform domain to provide better subjective and objective quality than conventional method. Extensive simulation results show that the proposed algorithm produces visually fine images with high PSNR.

Keywords : upsampling, 6-tap filtering, DCT upsampling, zero padding, blurring, ringing, DCT domain

I. 서 론

a) LG 전자 DM 연구소
LG Electronics Digital Media Lab.

지난 십여 년간 디지털 비디오 기술들은 놀라울 정도로 발전하였으며 주문 형 비디오, 화상 회의, 디지털 텔레비전,

멀티미디어 단말기 등 현재 다양한 응용 분야에서 사용되어지고 있다. MPEG-4^[1], H.263^[2], MPEG-4/AVC^[3] 등의 대표적인 비디오 코덱들은 이러한 다양한 응용 분야를 지원하기 위해 만들어졌다. 최근 다양한 멀티미디어 디바이스와 사용자의 요구를 충족시키기 위하여 스케일러블 비디오 코딩(scalable video coding) 표준^[4]이 VCEG(video coding expert group)과 MPEG(moving picture expert group)의 연합 프로젝트인 JVT(joint video team)에 의해 진행되고 있다. 스케일러블 비디오 코딩은 레이어 비디오 코딩 기술을 기반으로 하고 있으며 레이어 간의 예측 기법은 전반적인 코딩 성능을 향상시킬 수 있는 가장 핵심적인 기술이다. 레이어간 예측 방법은 크게 움직임 정보에 대한 예측 방법과 텍스처 정보에 대한 예측 방법이 있다. 움직임 정보에 대한 레이어간 예측방법으로는 현 레이어의 화면 간 매크로블록(inter macroblock)을 움직임 보상할 때 하위 레이어의 움직임 정보를 동일하게 사용하는 베이스 모드(base mode)와 하위 레이어의 움직임 정보를 1/4화소 단위로 보정하여 사용하는 1/4화소 보정 모드(quarter-pel refinement mode)가 있다. 텍스처 정보에 대한 레이어간 예측방법으로는 현 레이어의 화면 내 매크로블록(intra macroblock)의 예측신호로서 복원된 하위 레이어의 화면 내 매크로블록의 텍스처 신호를 사용하는 화면 내 베이스 모드(intra base mode)와 현 레이어의 화면 간 매크로블록의 잔여신호의 예측신호로서 하위 레이어의 화면 간 매크로블록의 잔여신호를 사용하는 잔여 예측 모드(residual prediction mode)가 있다. 만약 두 레이어간에 영상의 크기가 다르다면 예측 동작을 수행하기 위해 작은 크기의 영상을 큰 영상에 맞도록 텍스처 및 움직임 벡터를 업샘플링 시켜야 하는데, 특히 텍스처 정보에 대한 레이어간 예측 시 업샘플링 된 영상의 품질에 따라 전반적인 코딩 효율이 결정되므로 업샘플링 성능이 매우 중요하다. 이러한 이미지 업샘플링 방법은 크게 공간 도메인과 주파수 도메인에서 수행 될 수 있으며, 공간 도메인에서의 대표적인 업샘플링 방법으로는 6-탭, Bi-cubic, S-Spline, Lanczos, Bi-linear 등이 있다. 이 중에서 6-탭 내삽법은 H.264와 스케일러블 비디오 코딩에서

업샘플링 기법으로 사용되고 있는 대표적인 방법이다. 하지만 6-탭 내삽법은 오버스무딩(over smoothing) 현상을 발생시키고 업샘플링 된 영상의 객관적인 성능을 떨어뜨린다.

한편, 주파수 도메인에서의 업샘플링 방법으로는 작은 사이즈의 영상을 이산 코사인 변환 후 존재하지 않는 고주파 영역에 영을 패딩^[5]하여 다시 역변환 하는 방법을 사용된다. 6-탭 내삽법과는 다르게 오버스무딩 효과는 덜하여 객관적인 성능은 상대적으로 높게 나오지만 원치 않는 링잉(ringing) 효과가 발생하여 주관적인 화질 면에서는 더 낮은 성능을 보여준다.

본 논문에서는 6-탭과 영 패딩 기법에 비해 주관적, 그리고 객관적인 성능 향상을 얻기 위해 주파수 도메인에서의 주파수 해상도 확장 방법을 제안한다. 주파수 해상도 확장 방법은 고주파 성분을 저주파 성분에 그대로 더하는 직접 해상도 확장 방법과 중첩 윈도우를 이용하여 두 주파수 대역을 중첩시키는 두 가지의 방법이 제안된다.

제 2 장에서는 기존 업샘플링 기법에 간략히 소개를 하고, 제 3 장에서는 제안하는 알고리즘에 대해 자세히 설명을 하겠다. 제 4 장에서는 실험 결과를 통해 기존 알고리즘과의 비교 분석을 할 것이며, 마지막 5 장에서 결론을 맺도록 하겠다.

II. 전형적인 이미지 업샘플링 기법

1. 공간 도메인에서의 6-탭 내삽법

그림 1(a) 는 6-탭 필터의 필터 모양을 보여주고, 식(1)은 $F^{[3]}$ 이라는 점을 만들기 위해 사용되는 6-탭 필터의 각 화소별 가중치를 보여 주고 있다. 그림 2는 원본 영상과 6-탭 필터를 이용하여 업샘플링 한 영상이며 원본 이미지에 비해 오버스무딩 되어 있는 것을 알 수 있다.

$$F^{[3]} = (1 \times F^{[1]} - 5 \times F^{[2]} + 20 \times F^{[3]} + 20 \times F^{[4]} - 5 \times F^{[5]} + 1 \times F^{[6]}) / 32 \quad (1)$$

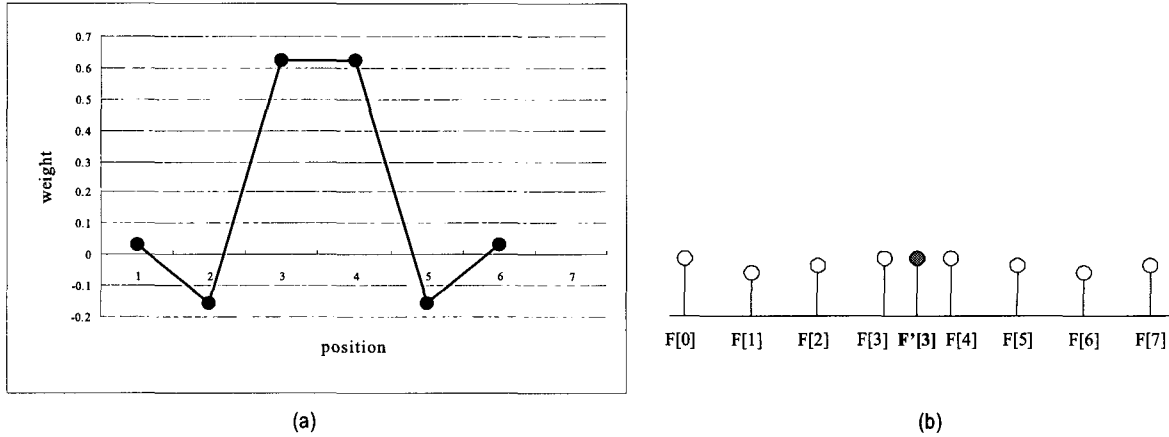


그림 1. (a) 6-탭 내삽법 필터, (b) 내삽을 위한 정수 위치 샘플과 소수 위치 샘플
 Fig. 1. (a) 6-tap FIR interpolation filter, (b) integer samples (vacant circles) and fractional sample (shaded circle) for interpolation

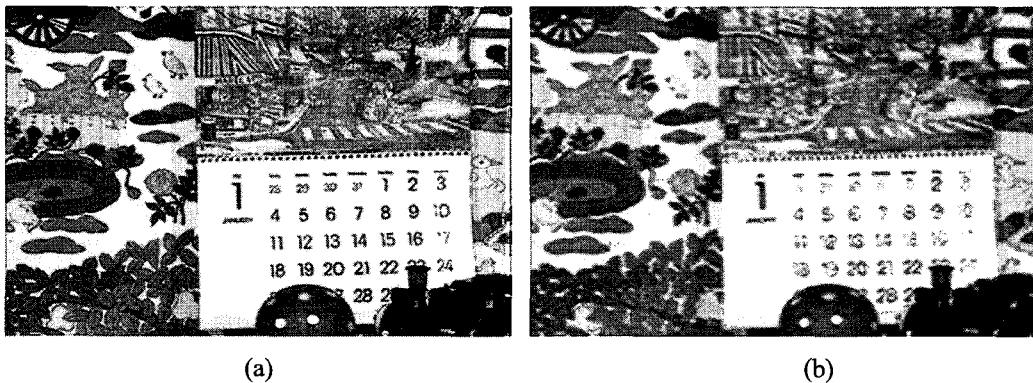


그림 2. (a) 원본 'Mobile' 이미지, (b) 6-탭 내삽 필터를 이용하여 업샘플링 된 이미지
 Fig. 2. (a) Original 'Mobile' image, (b) upsampled image using 6-tap FIR interpolation filter

2. 주파수 도메인에서의 영 패딩 기법

주파수 도메인에서의 업샘플링 방법은 원본 이미지를 이산 코사인 변환(discrete cosine transform) 후 업샘플링을 고려하여 고주파 영역에 영을 패딩하고 역변환 시킴으로 업샘플링 된 이미지를 얻는 방법이다. 자세한 과정이 그림 3에 도시되어 있고 설명의 용이성을 위해 일차원으로 표시하였다. 본 논문에서는 type-1 이산 코사인 변환을 사용하고 이산 코사인 변환의 성능을 향상시키기 위하여 짝수의 개수를 갖는 표본들에 대해 이산 코사인 변환을 적용할 때 가로, 세로 각각 1개의 중첩 표본을 더 사용하고 있다. 변환 후 생성된 5개의 샘플에 4개의 영 샘플들을 고주

파 영역에 패딩 함으로 주파수 영역에서의 해상도 확장을 할 수 있다. 패딩 후 얻어진 9개의 표본에 대해 역변환 과정을 거치면 공간 도메인에서의 9개의 표본들이 얻어지고 마지막에 있는 샘플은 중첩으로 사용된 표본에 의해 발생한 표본이므로 제거하게 된다. 그림 4에 원본 이미지와 영 패딩 기법을 이용하여 업샘플링 한 이미지가 도시되어 있다. 영 패딩 기법을 이용하여 얻어진 업샘플링 된 이미지는 6-탭 내삽법에 의해 얻어진 업샘플링 이미지에 비해 피크 신호 대 잡음 비(peak signal to noise ratio)가 높은 반면 원본 영상에서 볼 수 없는 링잉 현상이 발생하여 주관적이 화질은 떨어지는 것을 알 수 있다. 그 원인은 영 패딩 기법이란 원본 영상에 대해 이상적인 저

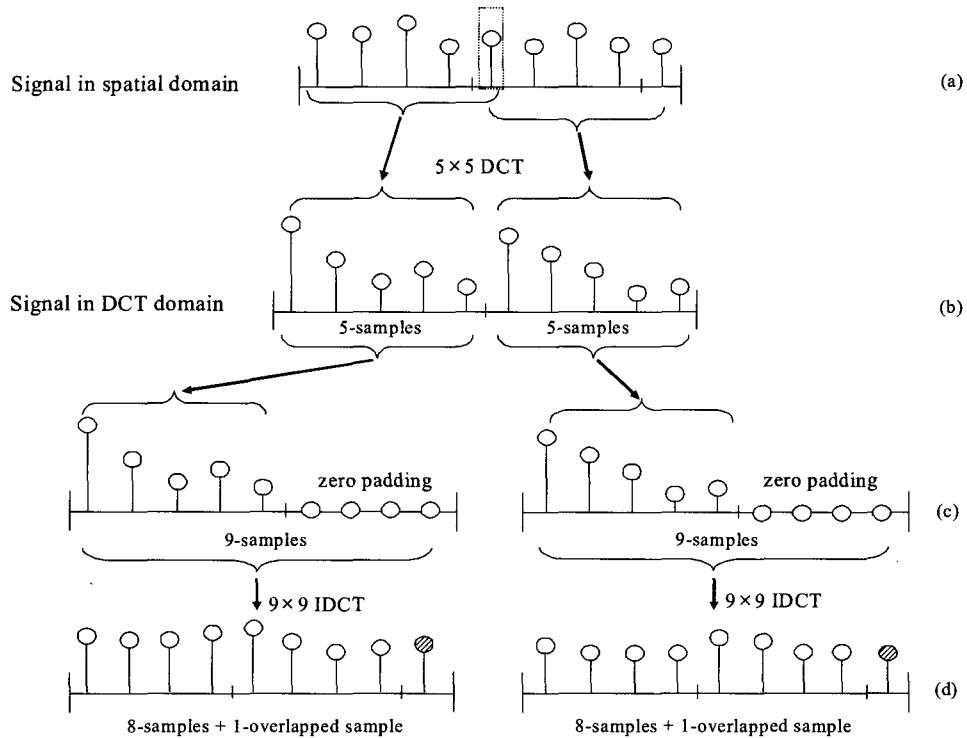


그림 3. Type-1 이산 코사인 변환을 이용한 변환 도메인에서의 영 패딩 기법: (a) 두개의 연속된 4개의 표본과 1개의 이웃 표본, (b) 두개의 연속된 5개의 변환 계수들, (c) 고주파 영역에 대한 영 패딩, (d) 두개의 연속된 8개의 표본과 1개의 중첩 표본

Fig. 3. Zero padding method in DCT transform domain using type-1 DCT: (a)two consecutive 4-samples and neighbor 1-sample, (b) two consecutive 5-transform coefficients, (c) zero padding to the high frequency band, (d) two consecutive 8-samples and 1-overlapped sample

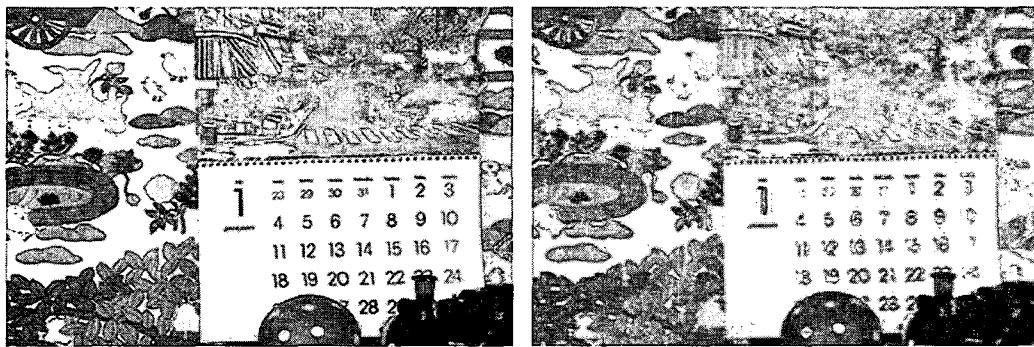


그림 4. (a) 원본 'Mobile' 이미지, (b) 영 패딩 기법을 이용하여 업샘플링 된 이미지
 Fig. 4. (a) Original 'Mobile' image, (b) upsampled image using zero padding scheme

주파 통과 필터링(ideal low-pass filtering)을 한 것으로 볼 수 있고, 따라서 공간 영역에서 눈에 거슬리는 링잉 효과가 발생하게 된다.

III. 제안하는 이미지 업샘플링 기법

본 논문에서 제안하는 주파수 해상도 확장 방법의 기본

적인 알고리즘은 공간 도메인에서의 업샘플링 방법과 주파수 도메인에서의 업샘플링 방법을 동시에 이용하는 것으로 영 패딩 기법처럼 이산 코사인 변환 방법을 이용하면서 영 패딩 대신 다른 업샘플링 방법을 통해 얻은 이미지로부터 고주파 영역의 데이터를 사용하여 주파수 영역에서의 해상도를 확장하고 이로써 새로운 업샘플링 이미지를 얻는 것이다. 이러한 업샘플링 기법에는 직접 해상도 확장 방법과 중첩 해상도 확장 방법이 있다.

고주파 영역에 그대로 더하여 주파수 도메인에서의 해상도를 확장하는 방법이다. 자세히 살펴보면 먼저 낮은 해상도를 갖는 이미지부터 5x5 이산 코사인 변환을 통해 5x5의 변환 계수 $x_L(n)$ 을 얻는다. 5x5의 밖의 고주파 영역에 대한 주파수 데이터를 얻기 위해 낮은 해상도를 갖는 원본 이미지를 6-탭 내삽법을 이용하여 업샘플링한 후 9x9 이산 코사인 변환을 통해 9x9의 변환 계수 $x_H(n)$ 을 얻는다. 이와 같이 얻은 주파수 계수들은 식 (2)의 윈도우를 이용하여 식 (3)과 같이

1. 직접 해상도 확장 기법

직접 해상도 확장 기법에서는 낮은 해상도를 갖는 원본 이미지로부터 얻은 저주파 영역의 데이터에 공간 도메인 업샘플링 기법으로 얻어진 높은 해상도의 이미지를 이산 코사인 변환하고, 이로써 얻어진 계수들 중 고주파 영역의 데이터를

$$w(n) = \begin{cases} 0, & 0 \leq n < N_H - N_L + 1 \\ 1, & N_H - N_L + 1 \leq n < N_L \end{cases} \quad (2)$$

$$x_H'(n) = x_L(n) + w(n)x_H(n). \quad (3)$$

최종적인 계수들 $x_H'(n)$ 이 얻어진다. N_H 와 N_L 은 각각 높

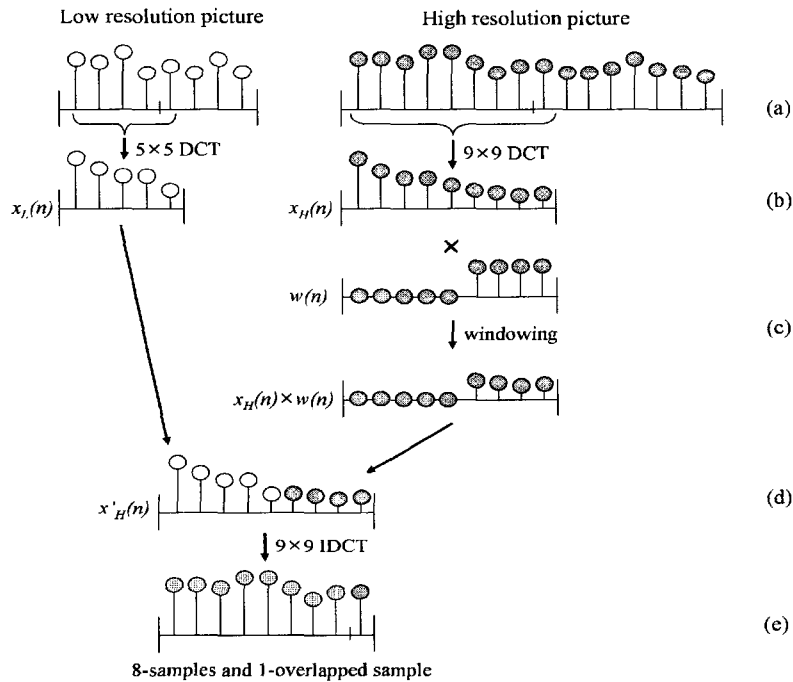


그림 5. 직접 해상도 확장 기법: (a) 낮은 해상도의 이미지에서 얻은 두개의 연속된 4개의 표본과 높은 해상도의 이미지에서 얻은 두개의 8개의 표본, (b) 이산 코사인 변환 계수, (c) 윈도우 적용 단계, (d) 낮은 해상도로 불러 얻은 주파수 대역에 높은 해상도로부터 얻은 고주파 영역을 더하여 주파수 영역을 확장하는 단계, (e) 역 이산 코사인 변환.
 Fig. 5. Diagram of direct addition method: (a) two consecutive 4-samples and 8-samples in each low resolution picture and high resolution picture, (b) DCT coefficients, (c) windowing process, (d) frequency samples of low resolution picture are added directly to the low frequency region of high resolution picture, (e) inverse DCT transformed samples.

은 해상도의 이미지와 낮은 해상도의 이미지에 적용하는 이산 코사인 변환의 크기를 나타내며 본 논문에서는 5x5와 9x9 이산 코사인 변환을 하기 위해 5와 9로 정의되었다. 최종적으로 $x'H(n)$ 는 9x9 역 이산 코사인 변환을 하여 공간 도메인의 이미지로 변환되고 9x9 표본들 중 마지막에 위치한 중첩된 샘플들은 버리게 된다. 개념적인 과정이 그림 5에 나타나 있다.

2. 중첩 해상도 확장 기법

만약 높은 해상도를 갖는 이미지로부터 얻은 고주파 영역의 계수들이 거의 영에 가까울 경우 직접 해상도 확장 방법은 영 패딩을 이용한 업샘플링 방법과 동일하게 된다.

따라서 영 패딩 방법에서 발생하는 단점인 링잉 효과가 발생할 수 있으므로 이를 보완하기 위하여 두 번째 알고리즘으로 중첩 해상도 확장 기법을 제안한다. 중첩 해상도 확장 기법은 먼저 설명한 직접 해상도 확장 기법과 유사하다. 차이점은 두개의 다른 영상에서 얻어진 주파수 영역을 조합할 때 불연속적인 부분을 제거하기 위하여 중첩 윈도우를 사용하고 낮은 주파수 영역과 높은 주파수 영역을 중첩시켜서 주파수 영역을 확장한다. 낮은 해상도의 이산 코사인 변환을 통해 얻은 계수 $x_L(n)$ 과 6-탭 내삽법을 이용하여 업샘플링 된 높은 해상도 이미지의 이산 코사인 변환 계수 $x_H(n)$ 은 식 (4)에 정의된 $x_L(n)$ 과 $x_H(n)$ 의 2, 3, 4번 표본들의 중첩을 위한 선형 중첩 윈도우를 이용하여 식 (5)을 통해 주파수 해상도가 확장된 결과 $x'H(n)$ 을 얻게 된다.

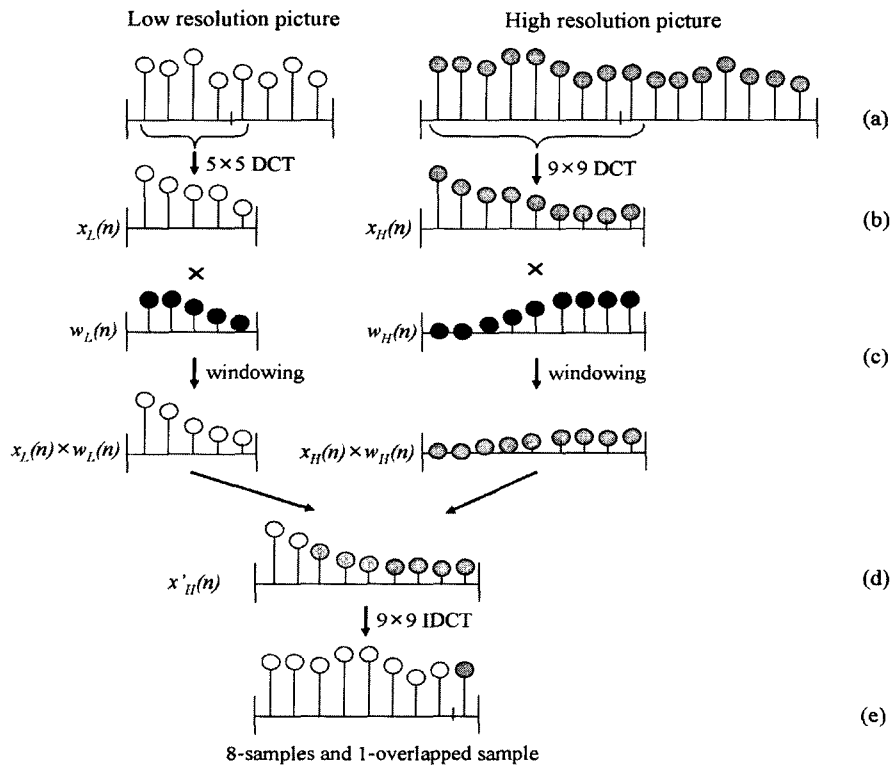


그림 6. : 중첩 해상도 확장 기법: (a) 낮은 해상도의 이미지에서 얻은 두개의 연속된 4개의 표본과 높은 해상도의 이미지에서 얻은 두개의 8개의 표본, (b) 이산 코사인 변환 계수, (c) 윈도우 적용 단계, (d) 낮은 해상도로 불러 얻은 주파수 대역에 높은 해상도로부터 얻은 고주파 영역을 중첩 윈도우를 이용하여 주파수 영역을 확장하는 단계, (e) 역 이산 코사인 변환.

Fig. 6. Diagram of overlapped addition method: (a) two consecutive 4-samples and 8-samples in each low resolution picture and high resolution picture, (b) DCT coefficients, (c) windowing process, (d) windowed frequency samples of low resolution picture are overlapped to the windowed low frequency region of high resolution picture, (e) inverse DCT transformed samples.

$$w_H(n) = \begin{cases} 0, & 0 \leq n < N_H - N_L - 2, \\ \frac{(n-1)}{4}, & N_H - N_L - 2 \leq n < N_H - N_L + 1, \\ 1, & N_H - N_L + 1 \leq n < N_H, \end{cases} \quad (4)$$

$$w_L(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n < N_H - N_L - 2, \\ \frac{(N_L - n)}{4}, & N_H - N_L - 2 \leq n < N_L, \end{cases}$$

$$x_H(n) = w_L(n)x_L(n) + w_H(n)x_H(n). \quad (5)$$

확장된 주파수 성분 $x^*H(n)$ 은 역 변환 과정을 통해 공간 도메인의 값으로 변환되고 직접 주파수 확장 방법과 동일하게 9x9 표본들의 마지막 표본들은 제거된다. 그림 6에 자세한 개념도가 도시되어 있다.

IV. 실험

본 실험에서는 기존 알고리즘으로써 6-탭 내삽법(6-tab), 영 패딩(zero padding) 기법과 제안하는 알고리즘으로써 직접 해상도 확장(direct addition) 기법과 중첩 해상도 확장

(overlapped addition) 기법에 대해 객관적인 성능과 주관적인 성능을 비교하였다. 업샘플링(upsampling ratio)은 2배만을 사용하였는데 일반적인 스케일러블 비디오 코딩 환경에서는 2배 이상의 업샘플링을 사용하는 경우가 거의 없기 때문이다. 또한 본 논문은 효율적인 업샘플링 기법에 목적을 두었으므로 실험에서는 스케일러블 코덱을 사용하여 코딩 성능을 평가한 것이 아닌 오직 업샘플링 성능만을 기존 알고리즘과 비교/분석하였다. 실험에 사용된 영상으로는 CIF 크기의 'BUS', 'FOOTBALL', 'FOREMAN', 'MOBILE' 영상을 사용하였다.

먼저 4개의 실험 영상에 대한 객관적인 성능 비교를 표 1에 나타내었다. FOREMAN을 제외한 대부분의 실험 영

표 1. PSNR결과 비교
Table 1. Comparison of PSNR

Image	PSNR (dB)			
	6-tap	zero padding	direct addition	overlapped addition
BUS	24.64	24.83	24.83	24.80
FOOTBALL	24.80	25.08	25.09	25.07
FOREMAN	30.08	29.84	29.85	30.10
MOBILE	20.96	21.14	21.14	21.11

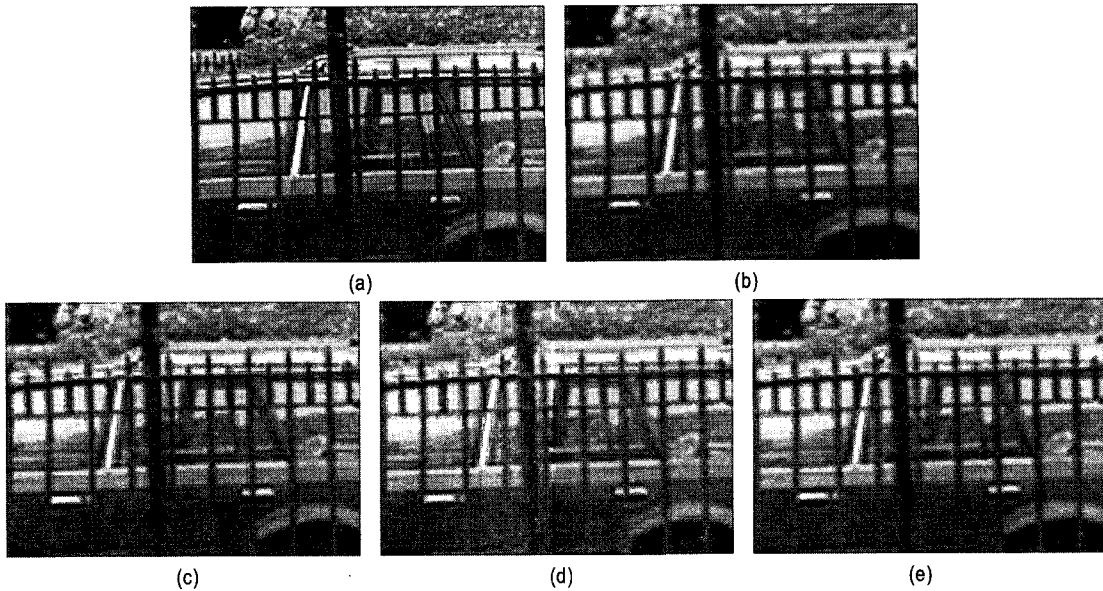


그림 7. (a) 원본 영상 (b) 6-탭, (c) 영 패딩, (d) 직접 해상도 확장, (e) 중첩 해상도 확장.
Fig. 7. (a) Original, (b) 6-tap, (c) zero padding, (d) direct addition, (e) overlapped addition.

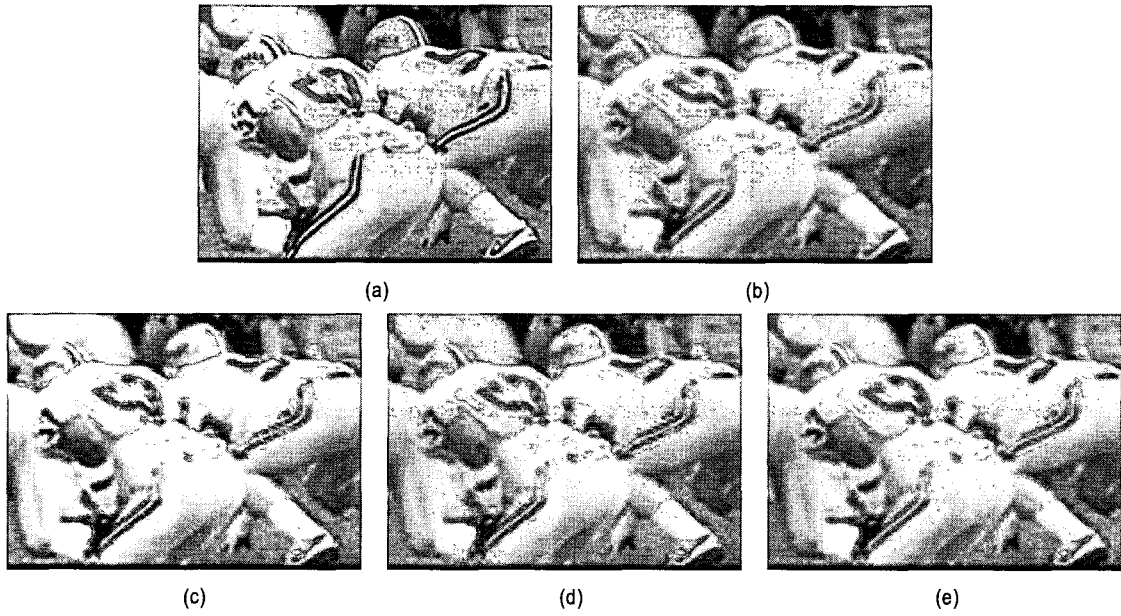


그림 8. (a) 원본 영상 (b) 6-탭, (c) 영 패딩, (d) 직접 해상도 확장, (e) 중첩 해상도 확장.
 Fig. 8. (a) Original, (b) 6-tap, (c) zero padding, (d) direct addition, (e) overlapped addition.

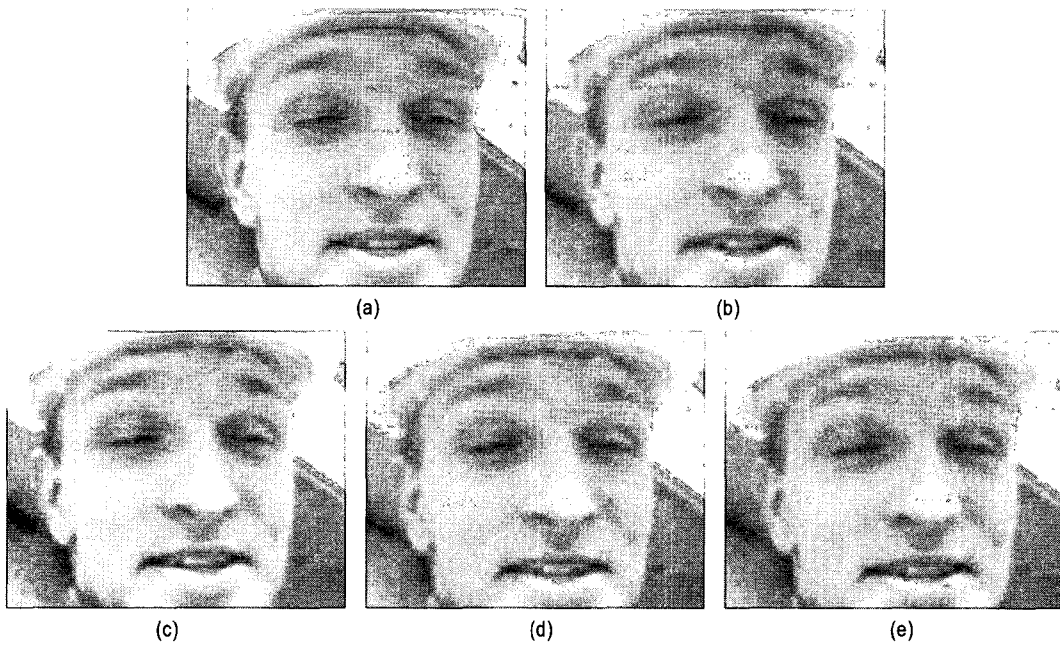


그림 9. (a) 원본 영상 (b) 6-탭, (c) 영 패딩, (d) 직접 해상도 확장, (e) 중첩 해상도 확장.
 Fig. 9. (a) Original, (b) 6-tap, (c) zero padding, (d) direct addition, (e) overlapped addition.

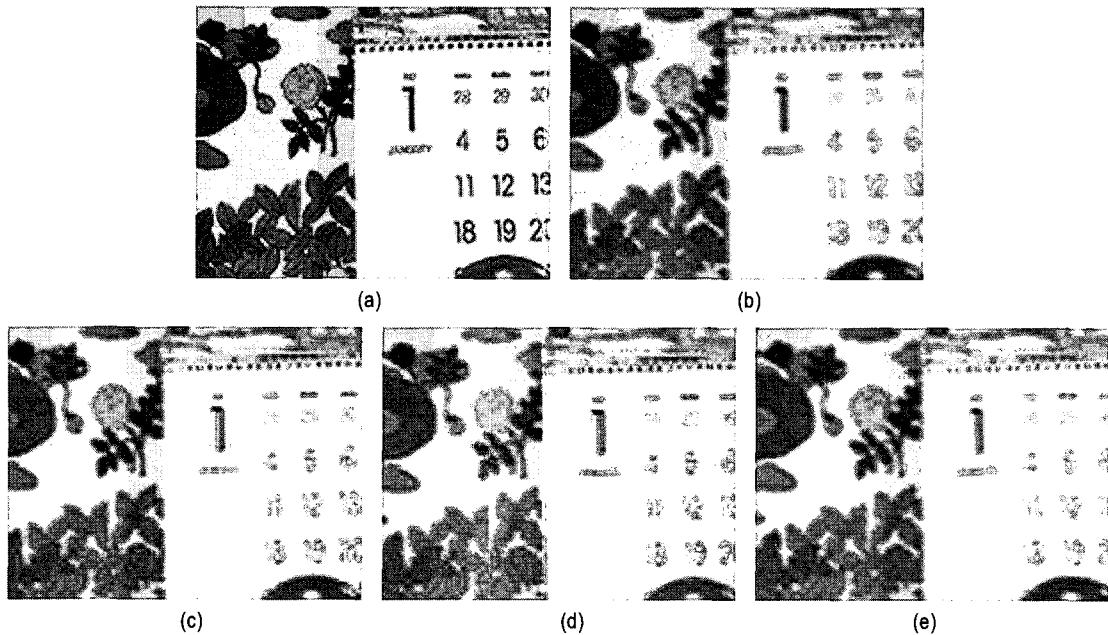


그림 10. (a) 원본 영상 (b) 6-탭, (c) 영 패딩, (d) 직접 해상도 확장, (e) 중첩 해상도 확장.
 Fig. 10. (a) Original, (b) 6-tap, (c) zero padding, (d) direct addition, (e) overlapped addition.

상에서 최대 0.2 dB의 이득을 얻을 수 있었다. FOREMAN의 이득이 작은 이유는 다른 영상들에 비해 상대적으로 고주파 성분들이 적어 고주파 성분을 이용하는 본 알고리즘에서는 큰 이득을 얻을 수 없었다. 주관적인 화질 평가를 위해 그림 7부터 10까지 각 데이터 영상에 대해 결과 이미지를 나타내었고, 자세한 결과 비교를 위해 특정 부분들을 확대하였다. 직접 해상도 확장 방법은 기존의 영 패딩 기법에 비해 링잉 효과가 어느 정도 줄어 든 것을 확인할 수 있다. 하지만 링잉 효과가 여전히 남아 있는 것을 알 수 있고 이러한 단점을 보완하기 위해 사용된 중첩 해상도 확장 방법의 결과에서는 매우 개선된 결과를 확인할 수 있다. 단, 제안하는 기법은 주파수 도메인에서 낮은 해상도를 갖는 영상의 주파수 해상도를 확장하여야 하므로 추가적인

DCT, IDCT 작업을 수행하게 되며 기존 6-탭 내삽방법에 비해 어느 정도의 복잡도는 증가하게 된다. 이러한 추가적인 복잡도 증가는 고속 DCT와 정수 DCT등을 사용하여 최소화 가 가능하다.

V. 결론

본 논문에서는 효과적인 이미지 업샘플링을 위해 주파수 영역에서의 직접 해상도 확장 기법과 중첩 해상도 확장 기법에 대하여 제안하였다. 해상도 확장 기법은 동일한 영상에 대해 낮은 해상도를 갖는 원본 영상으로부터 이산 코사인 변환을 통해 낮은 대역의 주파수 성분들을 얻어내고, 공간 영역 업샘플링을 통하여 얻은 높은 해상도의 영상을 이산 코사인 변환하여 높은 대역의 주파수 성분들을 얻어낸 후 이를 직접 더하여 확장하는 방법과 중첩 윈도우를 사용하여 확장하였다. 직접 해상도 확장 방법은 기존의 알고리즘에 비해 PSNR측면에서 이득을 보인 반면 링잉 효과의 단점이 있었으나 이를 보완한 중첩 해상도 확장 방법은 PSNR과 주관적인 화질 측면에서 모두 좋은 성능을 보였다. 본 논문에서 제안하는 효과적인 이미지 업샘플링 방법은 현재 표준화가 진행 중인 스케일러블 비디오 코딩의 핵심 기술인 레이어간 화면 내 베이스 예측 방법에서 특히 좋은 성능을 보일 것이며, 따라서 전반적인 코딩 성능 향상에 크게 기여할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] "MPEG-4 video verification model version 8.0," ISO/IEC JTC1 SC29/ WG11, 1997.
- [2] Draft ITU-T recommendation H.263, "Video coding for low bit rate communication," Sept. 1997.
- [3] ITU-T Rec. H.264/ISO/IEC 14 496-10 AVC, Mar. 2003.
- [4] ISO/IEC JTC/SC29/WG11, "Working Draft 1.0 of 14496-10:200x/AMD1 Scalable Video Coding," N6901, Hong Kong, Jan. 2005
- [5] R. Dugad and N. Ahuja, "A fast scheme for image size change in the compressed domain," IEEE Trans. Circuits, Syst., Video Technol., vol. 11, pp. 461-474, Apr. 2001.

저 자 소 개



박 승 욱

- 2000년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업 (학사)
- 2004년 8월 : 서울대학교 전기공학부 졸업 (석사)
- 2004년 8월부터 현재까지 : LG전자 디지털 미디어 연구소 주임연구원
- 주관심분야 : 영상통신, 영상처리, 멀티미디어 통신



박 지 호

- 2000년 2월 : 한양대학교 전자전기제어공학부 졸업 (학사)
- 2003년 8월 : 한양대학교 전자통신전파공학부 졸업 (석사)
- 2003년 8월부터 현재까지 : LG전자 디지털 미디어 연구소 주임연구원
- 주관심분야 : 비디오 코덱



전 병 문

- 1991년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업 (학사)
- 1994년 8월 : 고려대학교 전자공학과 졸업 (석사)
- 1999년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업 (박사)
- 1999년 3월부터 2000년 3월까지 : University of Miami, Post Doc
- 2000년 4월부터 현재까지 : LG전자 디지털 미디어 연구소 책임연구원
- 주관심분야 : 비디오코딩, 영상처리, 병렬처리



박 현 욱

- 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (학사)
- 1983년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 졸업 (석사)
- 1988년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 졸업 (박사)
- 1989년부터 1992년까지 : University of Washington 연구원
- 1992년부터 1993년까지 : 삼성전자 수석 연구원
- 1993년부터 2003년까지 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 교수
- 2003년부터 현재까지 : 한국과학기술원 바이오시스템학과 겸임교수
- 2005년부터 1월부터 2005년 12월까지 : LG전자 디지털 미디어 연구소 연구 위원 (연구연가)
- 주관심분야 : image computing system, 영상 압축, 의료 영상, 멀티미디어 시스템