

디지털 영상 통신 시스템에서 웨이블릿 변환 기반 저역 필터와 보간 필터

유 훈[†]

요 약

디지털 영상 통신 시스템에서 YUV 4:4:4 영상을 저역 필터 통과 후 샘플링한 YUV 4:2:0 또는 YUV 4:2:2 영상이 이용되고 이 영상은 보간 필터 수행 후 원래 크기로 회복된다. 저역 필터와 보간 필터의 사용은 영상 통신 시스템에서 일반적이다. 따라서 영상의 품질을 높이기 위해서 효율적인 저역 필터와 보간 필터는 여전히 필요하다. 본 논문에서는 새로운 효율적인 저역 필터와 보간 필터를 제안하고 이 필터들을 구축하는 방법론을 제시한다. MPEG-2와 같은 기존 시스템에서 사용되는 저역 필터와 보간 필터는 개별적으로 개발되었다. 본 논문에서는 웨이블릿 변환 기반으로 저역 필터와 보간 필터의 상호 조율하여 필터들을 개발한다. 잘 알려진 영상들에 대한 실험 결과는 MPEG-2에서 사용되는 필터와 비교하여 제안된 필터가 보간 필터의 길이도 더 짧을 뿐만 아니라 PSNR 면에서 더 우수한 것을 보여준다.

Wavelet Transform Based Low Pass Filters and Interpolation Filters in Digital Image Communication Systems

Hoon Yoo[†]

ABSTRACT

In digital image communication systems, YUV 4:2:0 or YUV 4:2:2 images filtered and subsampled versions of YUV 4:4:4 images are utilized and these images recover their size by an interpolation filter. Low pass filters and interpolation filters in the image communication systems are generally utilized. Thus, to improve the image quality, efficient low pass filters and interpolation filters are still required. In this paper, we propose new and efficient low pass filters and interpolation filters and their design method. The low pass filters and interpolation filters used in the MPEG-2 system were developed independently. We utilize wavelet transforms to jointly design low pass filters and interpolation filters. Simulation results show that the proposed filters are superior to the filters used in MPEG-2 in terms of PSNR. In addition, the length of the proposed interpolation filters is shorter than that of the filters used in the MPEG-2 system.

Key words: Image Interpolation(영상보간), Decimation(간축), Low Pass Filter(저역필터), Wavelet(웨이블릿), Digital Image System(디지털 이미지 시스템), MPEG-2 System

1. 서 론

디지털 칼라 영상은 저장, 전송 및 각종 처리를 요구하는 많은 응용분야에서 이용된다. 디지털 칼라

영상은 일반적으로 R, G, B 세 개의 성분으로 표현되고 각 성분 간의 상관관계를 제거하기 위해 Y, Cr, Cb 등으로 변환된다. 변환된 Y, Cr, Cb의 각 칼라 성분의 대역폭은 R, G, B 성분 보다 더 적은 폭을

※ 교신저자(Corresponding Author): 유훈, 주소: 부산시 사상구 주례2동 69-1번지(617-716), 전화: 051)320-1734, FAX: 051)327-8955, E-mail: hunie@dongseo.ac.kr

접수일: 2005년 9월 13일, 완료일: 2005년 11월 30일

[†] 정회원, 동서대학교 컴퓨터정보공학부

※본 연구는 동서대학교 신입교수연구지원으로 수행되었음.

갖게 되어 Cr, Cb 성분은 저역필터(low pass filter)를 통과한 후 샘플링(down-sampling)해서 영상 크기를 반 또는 그 이하로 줄인다. 크기가 줄어들어 압축 성능이 개선되고 압축 시간이 감소함에 따라서 H.264, MPEG-4, MPEG-2 등등의 영상 압축 분야에서 4:2:2 또는 4:2:0 포맷이 사용된다[1,2,4,8]. 압축된 영상을 복원할 때 4:2:0 또는 4:2:2 영상은 원래의 크기로 원복하기 위해서 보간(interpolation)을 수행한다. 보간이 수행된 후에는 RGB 칼라 영상으로 변환하면 최종적으로 단말에서 필요한 영상이 얻어진다. 즉 영상의 효율적인 전송과 저장을 위해서 칼라 영상의 변환과 변환후의 영상 신호의 대역폭 변화를 이용한 샘플링 그리고 복원 단에서 보간은 디지털 TV, 디지털 멀티미디어 방송(digital multimedia broadcasting) 등의 영상 전송 시스템에서 필연적으로 사용되고 있다.

그림 1과 그림 2와 같은 영상 시스템에서 다운샘플링과 업샘플링이 사용된다. 이때 에이리어싱(aliasing)과 이미징(imaging)이 발생하고 이를 제거하기 위해서는 이상적인 저역필터(ideal low pass filter)를 사용하면 된다. 그러나 현실적으로 이상적인 저역필터의 구현이 불가능해서 현실적인 크기의 필터를 제공하는 디자인방법들이 소개되었다[9-16]. 전통적인 방법으로 윈도우(window) 방법, 등물결(equiripple) 방법 등등 다양한 필터 디자인 방법이 [10]에서 정리되었고, 폴리페이즈(polyphase) 필터를 이용한 방법, FRM(frequency response masking)방법들이 소개

되었다[11-16]. 전통적인 방법들이 단일 필터 구조를 갖는 반면 최근의 필터 디자인 방법은 다수의 필터들로 저역필터를 구현하고 있다. 필터의 길이가 긴 경우 필터군으로 이루어진 저역필터가 복잡도가 낮음을 보이고 있다[16]. 또한 다운샘플링때 사용되는 저역필터와 업샘플링시 사용되는 저역필터는 각각 독립적으로 디자인됨을 알 수 있다.

영상에서의 저역필터는 길이가 비교적 짧은 것을 사용하는데 그 이유는 영상 데이터의 방대함으로 복잡도를 고려해야 하고 긴 길이의 필터들이 영상의 에지(edge) 부분에서 링잉(ringing)을 발생한다는 단점을 갖는다. 따라서 그림 1과 같은 영상 시스템에서 사용되는 저역필터와 보간필터는 비교적 짧은 길이의 필터를 사용하게 된다. 예를 들어, MPEG-2를 기반으로 하는 디지털 방송에서 저역 필터의 길이는 7이고 보간 필터의 길이는 4이다[1,2]. 많은 영상 통신 시스템이 4:2:0이나 4:2:2 포맷을 입력과 출력으로 정의하기 때문에 4:4:4 포맷에서의 상호 전환에 대한 방법에 대한 정의는 MPEG-2와 같이 CCIR 601(Rec. BT 601)포맷을 입력으로 하는 시스템에서만 포맷의 상호 변환에 대해서 구체적으로 정의하고 있고[1,2] 그 외의 표준인 MPEG-4, H.264 등의 압축방식에서는 포맷전환에 대한 정의를 하지 않는다[4,8].

본 논문에서는 그림 1과 그림 2와 같은 영상 시스템에서 샘플링과 보간에 필요한 새로운 필터들을 제안하고 이 필터들을 구축하는 방법을 제시한다. 영상에 대한 샘플링-보간 시스템에서 저역필터와 보간필터의 상호 연동하여 구축하면 독립적으로 구현된 필터보다 효율적이다. 본 논문에서 제시하는 저역필터와 보간필터의 상호 연동 방법은 쌍직교 웨이블릿 필터 구축방법을 응용하여 얻어진다. 또한 본 논문에서는 기존의 시스템인 MPEG-2의 포맷 전환에 사용되는 필터들과 일부 호환되는 필터를 제시한다. 실질적인 응용을 위해서 8비트 정수로 이루어진 필터계수 값을 제시한다. 실험에 의하면, 제안된 방법에서 사용된 길이가 2인 보간 필터가 MPEG-2에서 사용되는 길이가 4인 보간 필터보다 우수함을 알 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 현존하는 디지털 방송 표준인 MPEG-2에서 사용하는 샘플링 보간 방법에 대해서 기술하고, III장에서 제안된 저역필터와 보간필터를 소개하고, IV장에서는 실험과 결과에 대한 분석하고, 마지막으로, V장에서 결론을 맺

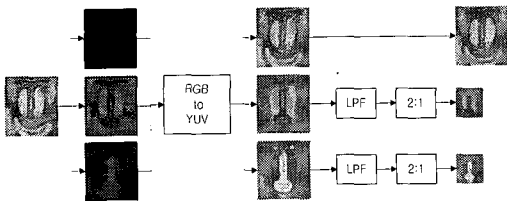


그림 1. RGB에서 YUV 4:2:0 포맷으로 변환

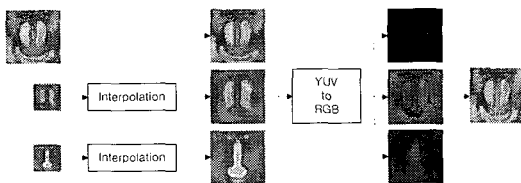


그림 2. 4:2:0 포맷에서 RGB 포맷으로 변환

는다.

2. MPEG-2에서 사용되는 저역 필터와 보간 필터

MPEG 2에서는 4:4:4 칼라 영상을 사용하기보다는 4:2:2 칼라 영상을 아날로그 영상으로부터 표본화한다. 따라서 그림 1과 그림 2와는 다소 다른 구조를 갖지만 4:2:2 칼라 영상을 4:2:0 칼라 영상으로 변환은 현 디지털 방송에서 사용하고 있다[1,2]. 그림 3과 그림 4는 4:2:2 칼라 영상에서 4:2:0 칼라 영상으로의 변환과 역 변환을 도식적으로 설명해주고 있다. 그림 3에서 Cb, Cr 영상을 2:1 샘플링하기 전에 사용되는 저역 필터로 격행주사(interlaced scan)로 인하여 상위 필드에는 $[-29, 0, 88, 138, 88, 0, -29]/256$ 을 하위 필드에는 $[1, 7, 7, 1]/16$ 을 각각 사용한다. 그림 4에서 사용되는 보간 필터는 상위 필드에는 $[1, 1]/2$ 계수를 갖는 보간 필터를 사용하고 있는데 이는 선형(linear) 필터로 알려져 있다. 또한 하위 필드에서 사용되는 보간 필터는 $[3, 1]/4, [1, 3]/4$ 를 매 화소마다 번갈아 가며 사용하고 있다. 순행 주사(progressive scan)된 4:2:2 칼라 영상에서 SIF(Source Input Format : Y는 352×240 , Cr과 Cb는 176×120) 영상으로 변환하는 과정이 그림 5에서 도식적으로 보여주고 있다.

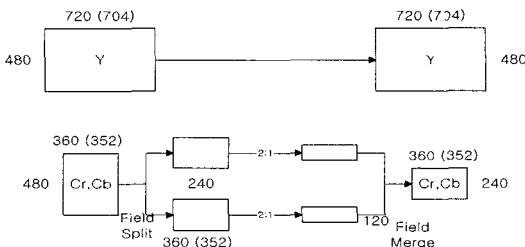


그림 3. CCIR 601 4:2:2 포맷에서 4:2:0 포맷으로 변환

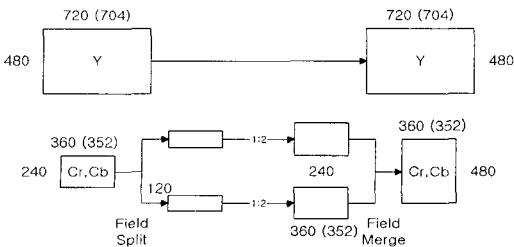


그림 4. CCIR 601 4:2:0 포맷에서 4:2:2 포맷으로 변환

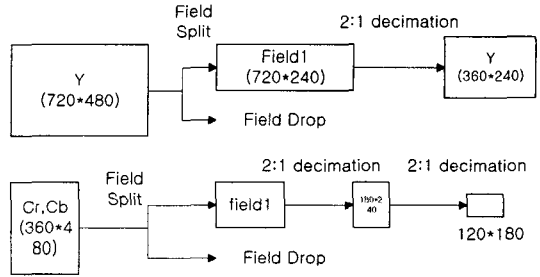


그림 5. CCIR 601 4:2:2 포맷에서 SIF 4:2:0 포맷으로 변환

그림 5에서 사용하는 필터는 $[-29, 0, 88, 138, 88, 0, -29]/256$ 계수를 갖는 저역 필터를 수평 방향 샘플링할 때 사용하고, 수직 방향은 필터를 사용하지 않고 샘플링한다. 그림 6에서 사용되는 보간 필터는 수직, 수평방향 모두 $[-12, 140, 140, -12]/256$ 계수를 갖는 보간 필터를 사용하고 있다.

결론적으로 MPEG-2에서 사용되는 샘플링-보간 구조에서 사용하는 필터는 샘플링할 때는 $[-29, 0, 88, 138, 88, 0, -29]/256$ 계수 값을 갖는 필터를, 보간할 때는 $[-12, 140, 140, -12]/256$ 또는 $[128 \ 128]/256$ 계수를 갖는 보간 필터를 사용하는 것을 알 수 있다. 그림 7에서 샘플링과 보간 필터 적용 방법을 도식적으로 보여주고 있다. 각 계수 값들은 MPEG-2에서 사용되는 값들이다.

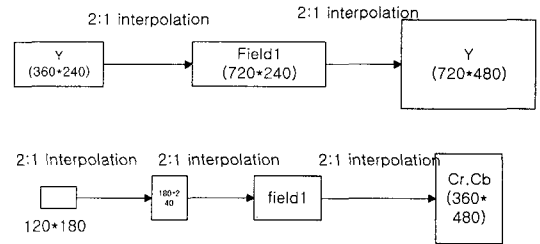


그림 6. SIF 4:2:0 포맷에서 CCIR 601 4:2:2 포맷으로 변환

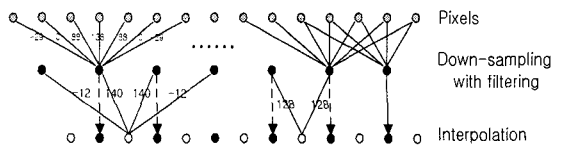


그림 7. 샘플링-보간 구조

3. 제안된 저역 필터와 보간 필터

샘플링-보간 구조는 웨이블릿 필터뱅크 구조와 유사하다. 즉 웨이블릿 필터뱅크의 저대역 성분만으로 신호를 복원하는 구조를 택한다면 샘플링 보간 구조에 적용 사용할 수 있다[3]. 그림 8에서 두 밴드 웨이블릿 필터뱅크 구조를 보여주고 있다. 웨이블릿 필터뱅크의 입력 신호원은 저대역과 고대역으로 분할되고 각 대역은 2:1 샘플링한다. 분할할 때 사용되는 필터로 이상적인 저대역, 고대역 필터를 사용할 수 없기 때문에 에리어싱은 필연적으로 발생하게 된다. 또한 각 대역별로 1:2 샘플링하고 안티이미징필터를 사용하고 최종적으로 두 대역의 신호원을 합하면 원 신호원이 재구성되는데 이때 재구성된 신호와 원신호가 동일하게 되는 4개의 필터를 디자인할 수 있다. 이를 완전복원이 가능한 필터뱅크라고 한다.

이 완전복원이 가능한 필터뱅크의 구조는 샘플링-보간 방법보다 구조가 복잡하고 계산이 많은 것이 일반적이다. 이 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 쌍직교 웨이블릿 필터 디자인 하는 방법을 응용하여 구현하였다. 먼저 그림 8과 같은 완전 복원 구조를 얻기 위해서는 식 (1)로부터 두 가지의 완전 복원 식 (2)와 식 (3)이 유도된다.

$$X(z) = \frac{1}{2}[H_0(z)G_0(z) + H_1(z)G_1(z)]X(z) + \frac{1}{2}[H_0(-z)G_0(z) + H_1(-z)G_1(z)]X(-z) \quad (1)$$

$$H_0(z)G_0(z) + H_1(z)G_1(z) = cz^{-n} \quad (2)$$

$$H_0(-z)G_0(z) + H_1(-z)G_1(z) = 0 \quad (3)$$

쌍직교 조건을 가해주면 식 (4)와 같은 식이 유도된다[6]. 식 (4)를 power complementary 조건이라 한다.

$$H_0(z)G_0(z^{-1}) + H_0(-z)G_0(-z^{-1}) = 2 \quad (4)$$

식 (4)의 조건으로부터 실질적인 필터 계수를 유

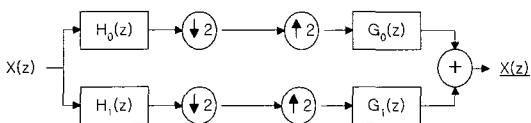


그림 8. 완전 복원 필터뱅크 구조

도하는 과정에서 선형위상을 갖는 필터를 구현하기 위해서 Daubechies의 구현방법을 이용할 수 있다[7]. 필터 계수를 유도하기 위해서 먼저 식 (4)를 식 (5)과 같이 정의한다.

$$P(z) + P(-z) = 2 \quad (5)$$

$$P(z) = (1+z^{-1})^k (1+z)^k R(z) \quad (6)$$

그리고 $P(z)$ 가 $w = \pi$ 에서 많은 수의 0을 갖는다고 정의하면 식 (6)과 같이 둘 수 있다. 따라서 원하는 필터 길이를 정의하기 위해서 적절한 k 값을 선택하고 선형위상 성질을 이용해서 자유도를 낮추어서 $P(z)$ 의 식을 유도할 수 있다. 예를 들면 $k=3$ 을 선택하면 $P(z)$ 를 식 (7)과 같이 유도할 수 있다. 식 (7)를 전개해서 선형 위상의 조건과 식 (5)의 조건을 동시에 만족하는 3차의 선형 방정식을 유도할 수 있고 이 방정식의 해를 구하면 식 (7)의 미지수를 모두 구할 수 있고 결과 식 (8)과 같이 된다.

$$P(z) = (1+z^{-1})^3 (1+z)^3 (az^2 + bz^1 + c + bz^{-1} + az^{-2}) \quad (7)$$

$$P(z) = \frac{1}{256} (1+z^{-1})^3 (1+z)^3 (3z^2 - 18z^1 + 38 - 18z^{-1} + 3z^{-2}) \quad (8)$$

식 (8)로부터 그림 8의 완전 복원 필터를 구하기 위해서 인수분해(spectral factorization)해서 분해 필터와 합성 필터로 분리할 수 있다. 식 (8)에서 인수분해해서 두 필터로 선택할 수 있는 방법으로 가능한 종류는 2/10, 3/9, 4/8, 5/7, 6/6 길이 등이다. 특히 9/3 길이 필터인 $h_0[n] = [6, -12, -32, 76, 180, 76, -32, -12, 6]/256$, $g_0[n] = [1, 2, 1]/4$ 는 MPEG4의 정지영상 압축 기법에서 사용되는 필터이다.

k 값의 선택에 따라서 필터의 크기가 결정되고 인수분해 과정에서 다양한 종류의 쌍직교 웨이블릿 필터들을 유도할 수 있다. 일반적으로 필터 계수들은 실수형을 갖지만 실제 적용 시에는 실수형 연산에 의한 필터링은 복잡도가 높아서 이용하기가 어렵다. 따라서 필터 계수들을 적절히 양자화해서 사용하게 되는데 쌍직교 웨이블릿 필터 디자인 방법을 응용하면 8bit의 양자화 계수를 갖는 필터 계수를 유도할 수 있다. 예를 들면 9/3 필터의 경우 $h_0[n] = [6, -12, -32, 76, 180, 76, -32, -12, 6]/256$ 와 $g_0[n] = [1, 2, 1]/4$ 의 계수는 순수한 정수계수를 갖는 완전 복원 필터가 된다. 또한 $g_0[n] = [1, 2, 1]/4$ 의 적용의 경우 일반적으

로는 업샘플링 후 $g_0[n]$ 로 필터링하게 되는데 이 구조는 선형 보간 필터인 $[1, 1]/2$ 와 동일한 구조가 된다. 따라서 복원에 사용되는 필터 $g_0[n]$ 는 실질적으로는 매우 간단한 구조를 갖는 것을 알 수 있다.

그림 8과 같은 구조에서 그림 9와 같은 구조로 고주파 대역을 버림으로서 변경이 가능하다. 따라서 영상을 간축하고 보간하는 구조에서는 $h_0[n]$ 와 $g_0[n]$ 의 두 저 대역 필터를 사용함으로써 가능하다. 필터의 선택은 보간할 때 가급적이면 적은 계산량을 할당하기 위해서 예를 들면 (9,3), (8,4) 등으로 적용할 수 있다. 정수계수를 갖는 쌍직교 웨이블릿 계수들은 무수히 많이 유도할 수 있다. 물론 실수계수로 유도되는 쌍직교 웨이블릿 계수도 무수히 많다. 정수계로의 선택 방법은 (8)과 같은식에서 정수계수로만 인수분해하고 선택하면 된다. 특히 $z=-1$ 인자를 두 개 선택하는 보간필터의 선형 보간필터와 동일하게된다. 따라서 쌍직교 웨이블릿 필터 구현방법론으로 영상의 간축과 보간이 필요한 시스템에 적용이 가능한 필터들의 계수들을 유도해 낼 수 있었다. 표 1에 몇 가지 정수계수를 갖는 웨이블릿 필터 계수들을 정리하였다.

샘플링-보간된 신호는 원 신호에 두 종류의 잡음

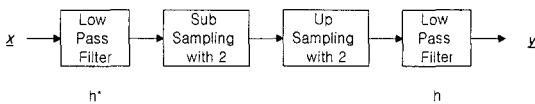


그림 9. 완전 복원 웨이블릿 필터 구조를 응용한 샘플링 보간 구조

표 1. 쌍직교 정수계수 웨이블릿 필터 계수

k	Analysis filter	Synthesis filter
1	$[1,1]/2$	$[1,1]$
2	$[-1,1,8,8,1,-1]/16$	$[1,1]/2$
	$[-1,2,6,2,-1]/8$	$[1,2,1]/2$
	$[1,4,6,4,1]/16$	$[1,2,1]/2$
	$[-1,3,3,-1]/4$	$[1,3,3,1]/4$
3	$[3,-3,-22,22,128,128,22,-22,-3,3]/256$	$[1,1]$
	$[6,-12,-32,76,180,76,-32,-12,6]/256$	$[1,2,1]$
	$[3,-9,-7,45,45,-7,-9,3]/64$	$[1,3,3,1]/4$
	$[3,-12,5,40,5,-12,3]/32$	$[1,4,6,4,1]/8$
	$[3,-15,20,20,-15,3]/16$	$[1,5,10,10,5,1]/16$

성분을 포함한다. 하나는 샘플링과 보간할 때 각각 발생하는 에이리어싱과 이미징 잡음이고 다른 하나는 이 잡음을 최소화하기 위한 안티에이리어싱 필터인 $H_0(z)$ 와 안티이미징 필터인 $G_0(z)$ 에 의한 대역왜곡이다. (1)에서 고역 성분을 제거하면 (9)가 얻어지고 (10)과 같이 정리할 수 있다.

$$\hat{X}(z) = \frac{1}{2}[H_0(z)G_0(z)]X(z) + \frac{1}{2}[H_0(-z)G_0(z)]X(-z) \tag{9}$$

$$\hat{X}(z) = D(z)X(z) + A(z)X(-z) \tag{10}$$

(10)에서 이 두 잡음이 $D(z)$ 와 $A(z)X(-z)$ 로 표현되었다. 대역왜곡($D(z)$)을 줄이기 위해서는 각 필터의 대역폭을 넓히면 가능하나 에이리어싱과 이미징 잡음($A(z)X(-z)$)이 증가하고 반대로 에이리어싱과 이미징 잡음을 제거하기 위해 대역제한을 크게하면 대역왜곡이 커진다. 따라서 두 잡음 사이엔 이윤배반적(tradeoff) 관계가 존재한다.

그림 10에서 보이듯이 $D(z)$ 와 $A(z)$ 에 대한 주파수 응답을 보면 필터들에 대한 잡음 분석이 가능하다. 그림 10 (a)는 대역 왜곡에 대한 제한된 필터와 기존 필터와의 비교 그래프이다. MPEG 7+7에서 앞의 7은 샘플링 시 저역필터의 길이이고, 뒤의 7은 4탭 길이의 보간 필터를 업샘플링 후 필터로 해석할 때의 길이이다. MPEG에서 사용되는 필터들의 대역 왜곡이 제한된 필터들보다 더 강하다는 걸 알 수 있다. 그림 10 (b)는 에이리어싱과 이미징 잡음에 대한 주파수 응답이다. 앞 그림과 달리 제한된 필터들의 주파수 응답이 기존 MPEG에서 사용되는 필터들보다 좋지 않음을 그림으로 확인 할 수 있다. 단순히 그림 10 (b)만 놓고 보면 기존의 필터들이 더 좋다고 판단 할 수 있지만 대역왜곡과 연동하여 비교할 필요가 있다. 그림 10 (c)의 그림은 Lena와 Baboon영상의 평균적인 주파수 대역 응답이다. 고역성분이 더 높게 나온 것이 Baboon 영상이다. 이 그림은 실질적인 영상의 주파수 대역에 대한 정보를 제공하는데 영상의 주파수 응답이 저주파에 집중되고 고역성분은 주파수가 증가함에 따라 줄어드는 경향을 보여준다. 그림 10을 통해서 영상의 저역은 주파수 왜곡에 민감하고 고역은 에이리어싱과 이미징에 의한 잡음에 민감함을 알 수 있다. 또한 입력 영상의 주파수 대역을 감안하면 대역왜곡을 좀 더 감소시키는 것이 전체적인 시스템

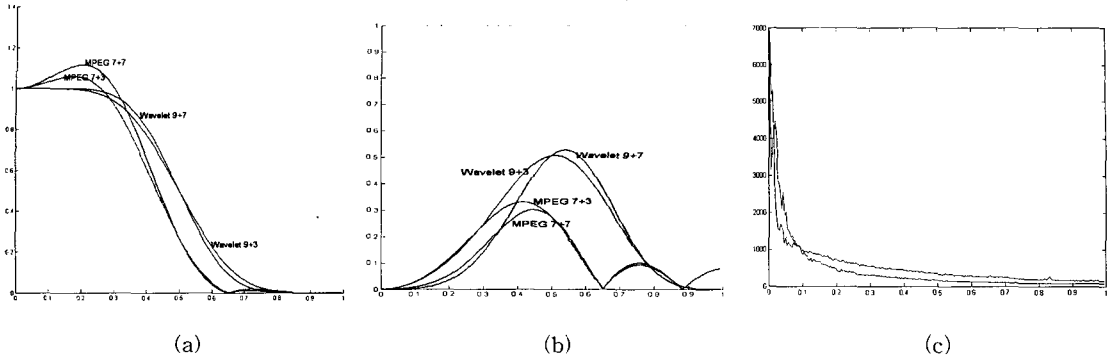


그림 10. 주파수 응답. (a) $D(z)$, (b) $A(-z)$, (c) Lena와 Baboon영상에 대한 평균 주파수응답

의 성능 면에서 유리하다는 걸 알 수 있다.

제안된 필터와 기존의 필터들의 대역 왜곡과 에리러싱과 이미징 잡음에 대한 평가를 위해서 입력 영상 대비 출력 영상의 MSE(mean square error) 또는 PSNR(peak signal to noise ratio)를 비교하는 것이 바람직하다. 샘플링-보간에 발생하는 왜곡과 잡음들은 상호 이윤배반적이므로 최종적으로 입력 대비 출력의 오차가 작은 필터가 성능 면에서 우수하다고 판단할 수 있다. 따라서 이를 실험적으로 규명하는 것이 필요하다.

4. 실험 및 결과

제안된 필터의 성능을 평가하기 위하여 1차원 신호원으로 Lena 흑백 영상의 100번째 행의 데이터를 사용하였고 2차원 신호원으로 Lena 칼라 영상과 Baboon 칼라 영상을 사용하였다. 사용된 영상의 크기는 모두 512x512 이다. 제안된 방법의 성능평가를 위해서 MPEG-2 방법 비교하였다. 필터를 적용할 때 신호원의 경계면 처리를 위해서 신호원의 가장자리를 대칭 확장(symmetric extension)을 적용하였다.

대칭 확장은 영 삽입(zero padding)이나 주기 확장(periodic extension) 등의 방법 보다 성능이 우수하여 선택되었다.

1차원 신호원에 대한 실험은 다양한 보간 방법에 대해서 이루어졌다. MPEG 방법에 의한 샘플링이 된 신호원에 대해서 영차 보간(zero order interpolation), 1차 보간(linear interpolation), 그리고 MPEG 보간 필터를 이용한 방법 등을 적용하였다. 그림 11에서 도식적으로 실험 방법에 관한 시나리오를 설명하였다. MSE(mean square error)를 기준으로 비교 평가를 수행한 결과 영차 보간이 다른 방법에 비하여 효율이 많이 떨어지는 것을 알 수 있고 이에 반하여 1차 보간과 MPEG의 보간 방법과 FFT을 이용한 보간 결과는 다소의 차이가 있지만 MSE값의 5% 내외 정도 효율 차이가 보였다. 즉 복잡도를 고려한다면 1차 보간만으로 충분히 좋은 효율을 얻을 수 있음을 실험 결과적으로 알 수 있다. 길이가 3인 쌍직교 웨이블릿 필터는 선형 보간과 동일하기 때문에 MPEG 보간 필터보다 수행 명령어 수가 반 밖에 되지 않고 곱셈기도 사용하지 않는다. 따라서 제안된 샘플링-보간 방법은 MSE 차원에서 MPEG 보간 방

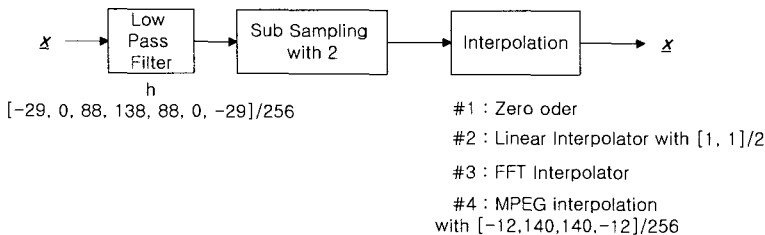


그림 11. 비교평가를 위한 실험 방법들

법보다 효율이 좋을 뿐 아니라 복잡도는 절반임을 알 수 있다. 각 보간 방법에 따른 실험 결과를 표 2에서 보여주고 있다. 웨이블릿 구조를 응용한 샘플링-보간 구조는 일반적인 보간 방법에 비하여 복잡하다. 표 2에서도 알 수 있듯이 9/7 쌍직교 웨이블릿 구조는 효율이 증가하지만 MPEG 방법에 비하여 명령어 개수가 2배로 증가하고 또한 부동 소수점 연산을 요구한다는 것을 알 수 있다. 그러나 9/3 쌍직교 웨이블릿 구조는 1차 보간법으로 해석이 가능하여서 복잡도를 MPEG 보간 방법에 비하여 반 이하로 줄이면서 반면에 효율은 증가하는 결과를 보이고 있다.

2차원 영상에 대한 실험은 그림 1과 그림 2에 기초로 해서 수행되었다. 즉 RGB 영상을 입력 받아서 YCbCr 칼라로 변환을 거치고 칼라 대역을 각각 2:1 샘플링한다. 이 때 사용되는 필터는 MPEG에서 사용되는 길이가 7인 필터를 가로 방향과 세로 방향으로 모두 사용하였다. 크기가 작아진 각각의 영상에 대해서 보간은 영차 보간, 1차 보간, MPEG 보간, 그리고 제안된 보간 필터 방법 등을 사용하였다. Lena 영상에 대한 결과는 표 3에서, Baboon 영상에 대한 결과는 표 4에서 각각 기술되었다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 영차 보간 보다는 다른 보간 방법들이 월등히 우수함을 알 수 있다. 또한 웨이블릿 필터 뱅크 방식이 MPEG 보간 방식보다는 전반적으로 효율면에서 우수하다고 할 수 있지만 9/3 쌍직교 웨이블릿을 제외하고는 복잡도가 MPEG 보간 방법보다 2배 이상

표 2. 512 크기의 1차원 영상에 대한 실험 결과

Down sampling filter	Interpolation	MSE	Complexity	Notice
MPEG filter 7 tap	Zero	26.58	Zero	no mul.
	Linear	6.88	Add 2*256 Shift 1*256	768 ops no mul.
	FFT	6.21	Too complex	
	MPEG	6.51	Mul 4*256 Add 1*256 Shift 1*256	1536 ops 1024 mul.
Wavelet 9 tap	Linear	5.91	Add 2*256 Shift 1*256	768 ops no mul.
Wavelet 9 tap	Wavelet 7 tap	5.31	Add 1*512 Mul 3.5*512 Shift 1*512	2816 ops 1792 mul.

표 3. Lena 영상에 대한 PSNR 결과

Interpolation	Y	Cb	Cr
Zero order	29.3558	39.1702	39.2150
Linear	35.3078	41.5991	41.8754
MPEG	35.5124	41.6734	41.9992
9/3 Wavelet	35.9066	41.9755	42.2989
9/7 Wavelet	36.5842	42.0635	42.4461

표 4. Baboon 영상에 대한 PSNR 결과

Interpolation	Y	Cb	Cr
Zero order	22.7456	31.3432	32.0348
Linear	24.8778	32.9555	34.0312
MPEG	24.8476	33.0442	34.1341
9/3 Wavelet	25.2518	33.3111	34.3563
9/7 Wavelet	25.4028	33.3501	34.4382

된다. 따라서 9/3 쌍직교 웨이블릿은 칼라 영상의 전처리와 후처리 과정에서 사용하는 샘플링-보간 구조에서 MPEG에서 사용하는 방법보다 복잡도를 반이하로 줄이면서 효율은 더 우수한 성능을 보이고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 영상 전송 시스템에서 사용되는 샘플링-보간 구조의 성능을 향상시키기 위해서 새로운 저역필터와 보간 필터를 제시하였다. 제안된 방법은 쌍직교 웨이블릿 필터를 유도하는 방법을 이용하여 현실적으로 사용가능한 8비트 정수 계수들을 제시하였다. 제시된 필터 계수들 중 9/3 웨이블릿 필터의 계수가 각각 [6, -12, -32, 76, 180, 76, -32, -12, 6]/128과 [1,2,1]/2로 얻어지고, 이 필터 성능이 MPEG-2에서 사용되는 필터와 비교하여 우수하다는 것이 실험적으로 밝혀졌다. 비록 인코더 쪽에서 MPEG-2에서 사용하는 필터보다 길이가 2탭 정도 길지만 복잡도에 민감한 디코더 쪽은 선형 보간과 동일함으로 그 길이가 MPEG-2의 보간에 비하여 반으로 감축할 수 있고 또한 곱셈기도 사용할 필요가 없어서 복잡도는 반 이하로 감축할 수 있었다. 뿐만 아니라 전체적인 효율도 MPEG-2 방식보다 우수함을 실험적으로 알 수 있었다. 추가적으로, CCIR 601 4:2:0 포맷에서 CCIR 601 4:2:2 포맷으로 변환할 때 상위 필드에 적

용되는 보간 필터가 선형 보간이므로 CCIR 601 4:2:2 포맷에서 CCIR 601 4:2:0 포맷으로 변환할 때 MPEG-2에서 사용하는 7탭 필터인 [-29, 0, 88, 138, 88, 0, -29]/256 계수를 제안된 계수로 인코더에서 바꾸면 디코더는 선형 보간 필터를 그대로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 성능도 향상된다.

참 고 문 헌

[1] B. G. Haskell, A. Puri, and A.N. Netravali, *DIGITAL VIDEO: AN INTRODUCTION TO MPEG-2*, Chapman & Hall, 1997.

[2] J. L. Mitchell, W. B. Pennebaker, C. E. Fogg, and D. J. LeGall, *MPEG VIDEO COMPRESSION STANDRAD*, Chapman & Hall, 1996.

[3] M. Vetterli and J. Kovacevic, *Wavelet and Subband Coding*, Prentice Hall, Inc., 1995.

[4] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N2502, FDIS 14496-2: Information technology-Generic coding of audio-visual objects-Part 2: Visual, Oct., 1998.

[5] ISO/IEC FCD15444-1: JPEG 2000 Part I Final Committee Draft Version 1.0, Mar. 2000.

[6] A. N. Akansu and R. A. Haddad, *Multiresolution Signal Decomposition*, Academic Press, Inc., 1992.

[7] G. Strang and T. Nguyen, *Wavelets and Filter Banks*, Wellesley-Cambridge Press, 1996.

[8] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N5555, FDIS 14496-10: Information Technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding, Mar. 31, 2003.

[9] D. J. Goodman, "Nine Digital Filters for Decimation and Interpolation," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. ASSP-25, No. 2, Apr. 1977.

[10] R. E. Crochiere and L. R. Rabiner, "Interpolation and Decimation of Digital Signals-A Tutorial Review," *Proceedings of IEEE*, Vol. 69, No. 3, Mar. 1981.

[11] H. Johansson and L. Wanhammar, "Filter

Structures Composed of All-Pass and FIR Filters for Interpolation and Decimation by a Factor of Two," *IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, Vol. 46, No. 7, Jul. 1999.

[12] H. Johansson and P. Lowenborg, "On the Design of Adjustable Fractional Delay FIR Filters," *IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, Vol. 50, No. 4, Apr. 2003.

[13] M. W. Coffey, "Optimizing Multistage Decimation and Interpolation Processing," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 10, No. 4, Apr. 2003.

[14] H. Johansson and P. Lowenborg, "On Linear-Phase FIR Filters with Variable Bandwidth," *IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Express Briefs*, Vol. 51, No. 4, Apr. 2004.

[15] H. Johansson and O. Gustafsson, "Linear-Phase FIR Interpolation, Decimation, and Mth-Band Filters Utilizing the Farrow Structure," *IEEE Trans. Circuits and Systems-I: Regular Papers*, Vol. 52, No. 10, Oct. 2005.

[16] Y. C. Lim and R. Yang, "On the Synthesis of Very Sharp Decimators and Interpolators Using the Frequency-Response Masking Technique," *IEEE Trans. Signal Processing*, Vol. 53, No. 4, Apr. 2005.



유 훈

1990~1997 한양대학교 전자통신공학과 공학사
 1997~1999 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사
 1999~2003 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공

학박사

2003~2005 삼성전자 무선사업부 책임연구원
 2005~현재 동서대학교 전임강사
 1997. 2. 26 제3회 삼성전자 휴먼테크 논문상 대회 입상
 2003~2005 삼성전자 위성 DMB 폰과 지상파 DMB 폰 개발 및 양산
 관심분야: 영상 압축 및 처리, 멀티미디어 시스템